

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

**CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE  
RESÍDUOS DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO PARA O PREPARO DE UM  
SUBSTRATO VEGETAL**

**Porto Alegre**

**2024**

**CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE  
RESÍDUOS DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO PARA O PREPARO DE UM  
SUBSTRATO VEGETAL**

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.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rejane Maria Candiota Tubino

Coorientadora: Dr.<sup>a</sup>. Beatriz Alicia Firpo Vasquez

**Porto Alegre**

**2024**

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: Rodrigo de Lemos Peroni

Coordenador substituto: Annelise Kopp Alves

#### CIP - Catalogação na Publicação

Hijazin, Carlos Atalla Hidalgo

Análise da viabilidade da adição de diferentes  
taxas de resíduo de areia verde de fundição para o  
preparo de um substrato vegetal / Carlos Atalla  
Hidalgo Hijazin. -- 2024.

211 f.

Orientador: Rejane Maria Candiota Tubino.

Coorientador: Beatriz Alicia Firpo Vasquez.

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, 2024.

1. Resíduos de areia verde de fundição. 2. Areia  
preta. 3. Compostagem aerada. 4. Substratos vegetais.  
5. Automação. I. Tubino, Rejane Maria Candiota,  
orient. II. Vasquez, Beatriz Alicia Firpo, coorient.  
III. Título.

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

**CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE  
RESÍDUOS DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO PARA O PREPARO DE UM  
SUBSTRATO VEGETAL**

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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Rejane Maria Candiota Tubino**

---

**Coorientadora: Dr.<sup>a</sup>. Beatriz Alicia Firpo Vasquez**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist**

---

**Prof. Dr. Darci Barnech Campani**

---

**Prof. Dr. Mário Augusto Tavares Russo**

---

**Dr. Paulo Robinson da Silva Samuel**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente na minha vida, acompanhando-me nos momentos de felicidade e de tristeza.

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

À professora Dr<sup>a</sup>. Rejane Maria Candiota Tubino, orientadora deste trabalho, pela receptividade, amizade, ensinamentos e paciência.

À Dr<sup>a</sup>. Beatriz Alicia Firpo Vasquez pelos ensinamentos e coorientação do trabalho.

À Thais Gularte Marques pela contribuição nos testes estatísticos aplicados neste trabalho.

Aos bolsistas de graduação do LEAmet que auxiliaram este trabalho, em especial à Marcelo de Oliveira Monaretto e a Laura Kives.

Aos colegas do LEAmet, pela amizade, em especial a Régis Pereira Waskow e Michel Cardoso Cunha (*in memoriam*), pela ajuda na construção da planta piloto utilizada na compostagem. Aos colegas Paulo Robinson da Silva Samuel e Viviane Lopes Gschwenter dos Santos, pela ajuda no controle operacional da planta piloto.

A empresa metalúrgica Hidro Jet pelo fornecimento do resíduo industrial metalúrgico, areia verde de fundição, utilizado nesta pesquisa.

Ao laboratório da engenharia mecânica, LAEFT, da UFRGS por cederem os equipamentos necessários para a pesquisa inicial com o arduíno e sensores, de umidade e temperatura, utilizados na compostagem com aeração forçada.

À CAPES pelo auxílio fornecido através da bolsa de doutorado.

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

## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de diferentes taxas de aplicação de resíduo de areia verde de fundição (RAVF) e substrato comercial a compostos orgânicos maturados. Os compostos orgânicos foram obtidos em dois processos distintos: i) vermicompostagem realizada em caixas em um condomínio, e ii) compostagem com um sistema automatizado de controle de temperatura, umidade e taxa de aeração. A compostagem foi realizada em uma bombona de polietileno de alta densidade (PEAD) no laboratório de estudos ambientais para a metalurgia (LEAMet) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Brasil. A formação destas misturas tem por finalidade a obtenção de substratos vegetais que possam ser utilizados na agricultura como fertilizante ou corretivo de acidez de solos. A metodologia deste trabalho foi dividida em quatro etapas: I) obtenção de vermicomposto (húmus de minhoca) a partir de resíduo sólido orgânico (RSO) segregado na fonte e composto maturado obtido de RSO segregado do resíduo sólido urbano (RSU); II) preparação dos substratos Tipos I e II seguido de suas análises da fertilidade. Substratos do Tipo I são compostas por 50% (m/m) de vermicompostos e taxas variáveis de RAVF e substrato comercial compondo os 50% (m/m) restantes da mistura. Substratos do Tipo II equivalem ao Tipo I, porém, utilizam composto maturado ao invés de húmus de minhoca; III) plantio da *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta) nos substratos Tipos I e II e análise de nutrientes em tecido vegetal, matéria seca (MS), condições de cultivo e dimensões desta gramínea; IV) comparação entre os resultados identificando-se as taxas de aplicação de RAVF aos substratos Tipos I e II com a melhor viabilidade técnica e ambiental de utilização. Os resultados indicam que há o potencial para utilização agrícola de RAVF na taxa de 10-20% somado às misturas Tipos I e II no cultivo da aveia preta. Devido ao elevado teor de matéria orgânica (MO) e alcalinidade presente nos substratos Tipos I e II, também é observado que estes podem ser utilizados como corretivo de acidez e condicionador de solos (fonte de matéria orgânica) na taxa de 10-20% (m/m) de RAVF para os substratos do Tipo I e de 10-30% (m/m) para os do Tipo II. Assim, este estudo, além de demonstrar viabilidade técnica, apresenta também viabilidade ambiental, ainda que em taxas controladas, para a aplicação do RAVF em compostos, substratos e na agricultura para o plantio da aveia preta.

**Palavras-chave:** resíduo de areia verde de fundição, aveia preta, compostagem aerada, substratos vegetais, automação.

## ABSTRACT

The general objective of this work is to evaluate the technical and environmental feasibility of incorporating different application rates of green foundry sand waste (WGFS) and commercial substrate into matured organic composts. The organic composts were obtained in two different processes: i) vermicomposting carried out in boxes in a condominium, and ii) composting with an automated system for controlling temperature, humidity and aeration rate. The composting was carried out in a high-density polyethylene (HDPE) drum at the Environmental Studies Laboratory for Metallurgy (LEAMet) of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) - Brazil. The formation of these mixtures aims to obtain plant substrates that can be used in agriculture as fertilizer or soil acidity corrector. The methodology of this work was divided into four stages: I) obtaining vermicompost (worm humus) from organic solid waste (OSW) segregated at source and matured compost obtained from OSW segregated from urban solid waste (MSW); II) preparation of Type I and II substrates followed by their fertility analysis. Type I substrates are composed of 50% (m/m) of vermicompost and variable rates of WGFS and commercial substrate composing the remaining 50% (m/m) of the mixture. Type II substrates are equivalent to Type I, however, they use matured compost instead of worm humus; III) planting of *Avena Strigosa* Schreb (black oats) in Type I and II substrates and analysis of nutrients in plant tissue, dry matter (DM), cultivation conditions and dimensions of this grass; IV) comparison between the results identifying the WGFS application rates to Type I and II substrates with the best technical and environmental feasibility of use. The results indicate that there is potential for agricultural use of WGFS at a rate of 10-20% added to Type I and II mixtures in the cultivation of black oats. Due to the high content of organic matter (OM) and alkalinity present in Types I and II substrates, it is also observed that these can be used as an acidity corrector and soil conditioner (source of organic matter) at a rate of 10-20% (m/m) of WGFS for Type I substrates and 10-30% (m/m) for Type II substrates. Thus, this study, in addition to demonstrating technical feasibility, also presents environmental feasibility, albeit at controlled rates, for the application of WGFS in composts, substrates and in agriculture for planting black oats.

**Keywords:** waste green foundry sand, black oats, aerated composting, plant substrates, automation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usinas de compostagem no Brasil.....	26
Figura 2 - Fases da compostagem.....	29
Figura 3 - Relação C/N ao longo do processo de compostagem.....	30
Figura 4 - Concentração de oxigênio em uma pilha de compostagem com aeração forçada...	36
Figura 5 - Curva teórica da demanda da taxa de oxigênio ao longo da compostagem .....	36
Figura 6 - Sequência de montagem do material compostado em uma LEA .....	37
Figura 7 - Sistema de aeração e automação em um reator biológico .....	39
Figura 8 - Elementos constituintes do solo.....	43
Figura 9 - Representação do perfil de um solo e seus horizontes.....	44
Figura 10 - Amplitude de pH e sua relação com a disponibilidade de nutrientes e alumínio.....	49
Figura 11 - Curva de respiração e fotossíntese para a aveia preta.....	54
Figura 12 - Caixa de moldar para a areia verde de fundição.....	65
Figura 13 - Processo de fundição ferrosa com recuperação de RAVF.....	66
Figura 14 - Caixa de modelagem, macho, canais, massolote e peça fundida.....	67
Figura 15 - Delineamento da pesquisa .....	71
Figura 16 - Vermicompostagem em caixas e minhocas da espécie <i>Eisenia foetida</i> .....	72
Figura 17 - Esquema da montagem do experimento realizado com arduíno e sensores de umidade e temperatura.....	74
Figura 18 - Equipamentos utilizados no experimento para testar o arduíno e os sensores de umidade e temperatura.....	75
Figura 19 - Ligações dos sensores de umidade e temperatura com o arduíno .....	75
Figura 20 - Caixa com o substrato comercial e sensores de umidade e temperatura .....	75
Figura 21 - Disposição dos sensores de temperatura e umidade para os Testes 2 e 3.....	76
Figura 22 - Protótipo com sensores de umidade e temperatura e seu respectivo croquis .....	77
Figura 23 - Planta piloto e a sua base .....	79
Figura 24 - <i>Layout</i> da caixa da planta piloto .....	79
Figura 25 - Soprador STANLEY e sua estrutura de proteção acústica e elétrica .....	80
Figura 26 - Sistema automatizado para o controle da aeração .....	81
Figura 27 - Ligações entre os sensores, arduíno e o cartão Micro SD .....	82
Figura 28 - <i>Layout</i> da planta piloto automatizada com o protótipo: a.vista lateral e b.vista superior.....	82

Figura 29 - ETLP do DMLU, caminhão compactador e pá carregadeira.....	83
Figura 30 - Triagem manual e pesagem do RSO na ETLP do DMLU .....	84
Figura 31 - Transporte e diminuição da granulometria do RSO da ETLP do DMLU .....	84
Figura 32 - Pesagem e armazenamento de pontas de podas de árvores e folhas secas coletadas no CT da UFRGS .....	85
Figura 33 - Cama, RSO e sua cobertura colocadas na bombona de PEAD .....	86
Figura 34 - Sequência de montagem da MO na planta piloto .....	86
Figura 35 - Medição do recalque e armazenamento do chorume gerado ao longo do processo de compostagem .....	88
Figura 36 - Posições de medição do recalque.....	89
Figura 37 - Local de coleta, pesagem e armazenamento do RAVF .....	92
Figura 38 - Procedimentos amostrais para os substratos Tipos I e II.....	93
Figura 39 - Armazenamento em sacos plásticos dos substratos Tipos I e II.....	95
Figura 40- Unidade experimental para o plantio da aveia preta nos substratos Tipos I e II .....	95
Figura 41 - Esquema da disposição das unidades experimentais para cada tipo de substrato...96	
Figura 42 - Aveia preta - EMBRAPA 139 (Neblina).....	96
Figura 43 - Pluviômetro e sua instalação na área externa do LEAmet.....	97
Figura 44 - Circuito, sistema automatizado e pontos de medição de umidade nos vasos .....	98
Figura 45 - Medição do comprimento foliar médio da aveia preta .....	99
Figura 46 - Morfologia externa da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II e coleta da sua parte aérea na sua fase reprodutiva. ....	99
Figura 47 - Crescimento da aveia preta nos 6 tratamentos e repetições dos diferentes substratos do Tipo I (RAVF+SUBS.+VERM.).....	100
Figura 48 - Crescimento da aveia preta nos 6 tratamentos e repetições dos diferentes substratos do Tipo II (RAVF+SUBS.+COMP.).....	101
Figura 49 - Separação manual, lavagem das raízes e armazenamento do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.....	102
Figura 50 - Curva de temperatura, medidas com sensor DHT22 ao longo do tempo, dentro da caixa sem substrato, no Teste 1 .....	104
Figura 51 - Curvas de temperatura, medidas com o sensor DHT22, colocadas na posição horizontal, na caixa com substrato e no ambiente externo, ao longo do tempo, no Teste 2 ..	104
Figura 52 - Curvas de umidade na caixa com substrato e no ambiente, medidas com o sensor DHT22, ao longo do tempo para o Teste 2 .....	105

Figura 53 - Curvas de temperaturas medidas com sensores DHT22 e curvas de umidades medidas com sensor YL-69 , obtidas no Teste 3 .....	106
Figura 54 - Recalque do material compostado ao longo do processo de compostagem.....	108
Figura 55 - Registros de temperaturas dos sensores DHT22, ao longo do processo de compostagem.....	111
Figura 56 - Registros de umidades medidos em laboratório e pelos sensores SEN0193, ao longo do processo de compostagem .....	112
Figura 57 - Resultados dos parâmetros avaliados ao longo do processo da compostagem para as diferentes bateladas .....	118
Figura 58 - Climograma do experimento com aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I.....	126
Figura 59 - Climograma do experimento com aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II.....	127
Figura 60 - Umidades dos substratos do Tipo I ao longo do cultivo da aveia preta .....	128
Figura 61 - Umidades dos substratos do Tipo II ao longo do cultivo da aveia preta.....	129
Figura 62 - Matéria seca do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I .....	130
Figura 63 - Matéria seca do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II.....	131
Figura 64 - Comparação de médias (Tukey $p \leq 5\%$ ) das dimensões da aveia preta cultivadas nos substratos do Tipo I.....	132
Figura 65 - Comparação de médias (Tukey $p \leq 5\%$ ) das dimensões da aveia preta cultivadas nos substratos do Tipo II .....	133
Figura 66 - Comprimento foliar médio da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I ....	134
Figura 67 - Comprimento foliar médio da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II) .	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites para parâmetros físicos avaliados no processo de compostagem nas diferentes fases e no composto maturado .....	31
Tabela 2 - Limites para parâmetros químicos avaliados no processo de compostagem nas diferentes fases e no composto maturado .....	32
Tabela 3 - Teores mínimos de macronutrientes para compostos de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a).....	32
Tabela 4 - Teores mínimos de micronutrientes para compostos de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a).....	33
Tabela 5 - Limites máximos de metais tóxicos para países da Europa, Brasil e Estados Unidos com normas para certificação para composto.....	33
Tabela 6 - Período de tempo e temperatura necessários para higienização dos compostos de acordo com a CONAMA 481 (Brasil, 2017).....	34
Tabela 7 - Principais parâmetros microbiológicos estudados no processo de compostagem de acordo com a IN 7 (BRASIL, 2016a).....	34
Tabela 8 - Garantias de qualidade para húmus de minhoca conforme IN 25/2009 e IN 61 (Brasil,2020a) .....	42
Tabela 9 - Classificação da CTC do solo .....	47
Tabela 10 - Interpretação dos teores trocáveis dos cátions alumínio, cálcio e magnésio extraíveis do solo .....	48
Tabela 11 - Faixas para relações BCSR .....	50
Tabela 12 - Classes de disponibilidade de fósforo e potássio no solo.....	52
Tabela 13 - Interpretação de micronutrientes e enxofre no solo .....	52
Tabela 14 - Classificação da textura do solo nos estados do RS, SC e MG.....	53
Tabela 15 - Classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24h .....	55
Tabela 16 - Parâmetros de cultivo, físico-químicos, dimensões e MS, da aveia preta semeada em solos naturais .....	56
Tabela 17 - Limites de concentração em plantas e faixas de suficiência de nutrientes no tecido foliar para a aveia preta .....	61
Tabela 18 - Função dos nutrientes do tecido vegetal das plantas.....	62
Tabela 19 - Parâmetros físicos e de aeração utilizados nos algoritmos do arduíno para o processo de compostagem .....	78
Tabela 20 - Faixas de vazões do soprador STANLEY.....	81

Tabela 21 - Cargas coletadas de RSU e de RSO para a alimentação da planta piloto .....	85
Tabela 22 - Total de material compostado na planta piloto e em cada batelada .....	87
Tabela 23 - Composição dos tratamentos dos substratos Tipos I e II.....	94
Tabela 24 - Períodos de contato dos sensores DHT22 com a MO e seus respectivos recalques .....	110
Tabela 25 - Umidades medidas em laboratório e pelos sensores SEN0193 nas diferentes posições .....	113
Tabela 26 - Resultados dos parâmetros do húmus de minhoca (fertilizante orgânico classe A) e padrões de qualidade .....	114
Tabela 27 - Resultados dos nutrientes do húmus de minhoca (fertilizante orgânico classe A) e padrões de qualidade .....	114
Tabela 28 - Resultados dos parâmetros de qualidade do composto (fertilizante orgânico classe B) e padrões de qualidade.....	116
Tabela 29 - Comparação entre os resultados do laudo da amostra sólida de RAVF com a CONAMA 420 (Brasil, 2009b) , IN SDA 7 (Anexos IV e V) (Brasil, 2016a) e IN SDA 17 (Anexo VI) (Brasil, 2014) em relação a valores orientadores e contaminantes.....	120
Tabela 30 - Parâmetros físico-químicos do substrato comercial.....	121
Tabela 31 - Parâmetros de fertilidade dos substratos do Tipo I para os diferentes tratamentos.....	122
Tabela 32 - Parâmetros de fertilidade dos substratos do Tipo II para os diferentes tratamentos.....	124
Tabela 33 - Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I para os diferentes tratamentos .....	136
Tabela 34 - Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II para os diferentes tratamentos .....	138

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes dos compostos levando-se em conta a segregação das matérias-primas de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a) .....	28
Quadro 2 – Principais vantagens e limitações dos sistemas de compostagem com aeração forçada .....	38
Quadro 3 - Morfologia externa, descrição e função dos órgãos da aveia preta .....	57
Quadro 4 - Matérias-primas utilizadas na composição das substratos vegetais.....	90
Quadro 5 - Comparação entre os resultados de fertilidade dos substratos Tipos I e II.....	140
Quadro 6 - Comparação entre os resultados de matéria seca da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.....	141
Quadro 7 - Comparação entre os resultados das dimensões da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.....	142
Quadro 8 - Comparação entre os resultados dos nutrientes da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.....	143

## LISTA DE SIGLAS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	Areia Descartada de Fundição
AVF	Areia Verde de Fundição
ALQ	Areia de Fundição Ligada Quimicamente
BCSR	<i>Base-Cation Saturation Ratio</i> (Razão da Saturação de Cátions Básicos)
CO	Carbono Orgânico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DM	<i>Dry Matter</i> (Matéria Seca)
DMLU	Departamento Municipal de Limpeza Urbana
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)
ETLP	Estação de Transbordo Lomba do Pinheiro
IN	Instrução Normativa
LAS	Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS
LEA	Leira Estática Aerada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
MSW	<i>Urban Solid Waste</i> (Resíduo Sólido Urbano)
NBR	Norma Técnica Brasileira
OM	<i>Organic Matter</i> (Matéria Orgânica)
OSW	<i>Organic Solid Waste</i> (Resíduo Sólido Orgânico)
RAD	Recuperação de Área Degradada
RAVF	Resíduos de Areia Verde de Fundição
RCC	Resíduos da Construção Civil
RDO	Resíduos Domiciliares
ROLAS	Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC)
RPU	Resíduos Sólidos Públicos
RSO	Resíduos Sólidos Orgânicos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária do MAPA
INDICE SMP	Índice de Shoemaker, McClean e Pratt
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PGIRS	Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Vinila
WGFS	<i>Green Foundry Sand Waste</i> (Resíduo de Areia Verde de Fundição)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	22
1.2 OBJETIVOS.....	22
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>22</b>
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	23
1.4 INEDITISMO .....	24
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
2.1 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS.....	25
<b>2.1.1 Fontes e classificação do material orgânico para a compostagem.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.2 Fases da compostagem .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3 Parâmetros de qualidade .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.4 Sistemas de automação e aeração forçada .....</b>	<b>35</b>
2.2 VERMICOMPOSTAGEM .....	41
2.3 COMPOSTOS MATURADOS APLICADOS A SOLOS E PLANTAS .....	42
2.4 SOLOS NATURAIS .....	43
<b>2.4.1 Perfil de solos naturais .....</b>	<b>44</b>
<b>2.4.2 Fertilidade do solo .....</b>	<b>45</b>
2.5 AVEIA PRETA.....	53
<b>2.5.1 Ciclo vegetativo.....</b>	<b>53</b>
2.5.1.1 <i>Morfologia externa da aveia preta.....</i>	57
2.5.1.2 <i>Estágios de crescimento da aveia preta .....</i>	59
<b>2.5.2 Análise de tecido vegetal .....</b>	<b>60</b>
2.6 SUBSTRATOS .....	62
2.7 RESÍDUO DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO (RAVF) .....	64
<b>2.7.1 Processo de fundição com areia verde de fundição (AVF) e geração de resíduos.....</b>	<b>65</b>
<b>2.7.2 Reciclagem e disposição da areia descartada de fundição (ADF).....</b>	<b>68</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>71</b>

3.1 ETAPA I – VERMICOMPOSTAGEM E COMPOSTAGEM COM SISTEMA AUTOMATIZADO.....	72
<b>3.1.1 Vermicompostagem.....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.2 Compostagem com sistema de automação e aeração forçada.....</b>	<b>73</b>
<i>3.1.2.1 Pesquisas com arduíno e sensores de umidade e temperatura.....</i>	<i>73</i>
<i>3.1.2.2 Construção de um protótipo com sensores de temperatura e umidade.....</i>	<i>76</i>
<i>3.1.2.3 Limites para o controle automatizado de umidade, temperatura e ciclo de aeração....</i>	<i>77</i>
<i>3.1.2.4 Construção do sistema de compostagem com aeração forçada.....</i>	<i>78</i>
<i>3.1.2.5 Material orgânico e a sua sequência de montagem na planta piloto.....</i>	<i>83</i>
<i>3.1.2.6 Determinação do recalque e do volume de chorume gerado no processo de compostagem.....</i>	<i>88</i>
<i>3.1.2.7 Avaliação dos parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos classes A e B.....</i>	<i>89</i>
3.2 ETAPA II – ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE RAVF E SUBSTRATO COMERCIAL AOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS CLASSES A e B .....	90
<b>3.2.1 Matérias-primas utilizadas nos substratos Tipos I e II.....</b>	<b>90</b>
<b>3.2.2 Coleta e análises físico-químicas das matérias-primas constituintes dos substratos Tipos I e II.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2.3 Procedimentos amostrais, armazenamento e análise de fertilidade dos substratos Tipos I e II.....</b>	<b>93</b>
3.3 ETAPA III – PLANTIO DAS SEMENTES DE AVEIA PRETA NOS SUBSTRATOS TIPOS I e II.....	95
<b>3.3.1 Avaliação das condições de cultivo da aveia preta nos substratos Tipos I e II.....</b>	<b>97</b>
<b>3.3.2 Avaliação dos nutrientes, matéria seca, nutrientes, dimensões e morfologia externa da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.....</b>	<b>98</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>103</b>
4.1 ETAPA I – ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DA QUALIDADE DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS CLASSES A e B.....	103
<b>4.1.1 Controle automatizado da temperatura e umidade de um substrato comercial....</b>	<b>103</b>
<b>4.1.2 Controle do processo e do sistema automatizado da compostagem com aeração forçada.....</b>	<b>107</b>
<i>4.1.2.1 Determinação do recalque, do volume de chorume e da massa do composto maturado.....</i>	<i>107</i>

4.1.2.2	<i>Controle automatizado da taxa de aeração, da temperatura e da umidade ao longo do processo de compostagem.....</i>	108
4.1.2.3	<i>Avaliação dos parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos classes A e B.....</i>	113
4.2	<b>ETAPA II - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO RAVF E SUBSTRATO COMERCIAL E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SUBSTRATOS TIPOS I e II.....</b>	119
4.2.1	<b>Análise química de contaminantes do RAVF e de parâmetros físico-químicos do substrato comercial.....</b>	119
4.2.2	<b>Análise química de fertilidade das substratos Tipos I e II.....</b>	121
4.3.	<b>ETAPA III – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO, MATÉRIA SECA, DIMENSÕES E NUTRIENTES DA AVEIA PRETA.....</b>	125
4.3.1	<b>Condições de cultivo da aveia preta nos substratos Tipos I e II.....</b>	125
4.3.1.1	<i>Precipitações acumuladas e temperatura ambiente.....</i>	125
4.3.1.2	<i>Umidade dos substratos Tipos I e II para os diferentes tratamentos ao longo do cultivo da aveia preta.....</i>	127
4.3.2	<b>Análise de matéria seca, dimensões e nutrientes da aveia preta.....</b>	130
4.3.2.1	<i>Matéria seca.....</i>	130
4.3.2.2	<i>Dimensões lineares.....</i>	132
4.3.2.3	<i>Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta.....</i>	136
4.4.	<b>ETAPA IV – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS PARA OS SUBSTRATOS TIPOS I E II.....</b>	139
5.	<b>CONCLUSÕES.....</b>	145
5.1	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	145
5.2	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	148
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	149
	<b>ANEXO A - Análise físico-química do vermicomposto.....</b>	163
	<b>ANEXO B - Análise físico-química do RAVF.....</b>	164
	<b>ANEXO C - Análise físico-química do substrato comercial.....</b>	165
	<b>ANEXO D - Análise química de fertilidade dos substratos do Tipo I (RAVF+SUBS. +VERM.).....</b>	166
	<b>ANEXO E - Análise química de fertilidade dos substratos do Tipo II (RAVF+SUBS. +COMP.).....</b>	168
	<b>ANEXO F – Análise química do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I (RAVF+SUBS. +VERM.).....</b>	174
	<b>ANEXO G – Análise química do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II (RAVF+SUBS. +COMP.).....</b>	186

<b>ANEXO H - Análise físico-química do resíduo urbano domiciliar.....</b>	<b>198</b>
<b>ANEXO I - Análise físico-química de pontas de podas de árvores e folhas secas.....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO J – Análise físico – química do composto orgânico da compostagem com sistema automatizado.....</b>	<b>200</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento humano e industrial tem provocado uma diversidade de impactos ambientais, tais como o aumento de demanda de energia com o consequente esgotamento de recursos não renováveis e uma grande geração de resíduos sem destinação adequada que causam empobrecimento do solo, poluição ambiental e consequentes mudanças climáticas.

Dois resíduos gerados em grandes volumes, em nível mundial, são os resíduos sólidos urbanos (RSU), com cerca de 2,01 bilhões de t/ano (Kaza *et al.*, 2018) e o resíduo industrial areia descartada de fundição (ADF) com uma produção aproximada de 6 a 10 milhões de t/ano (BHIMANI *et al.*, 2013). A quantidade consumida e a geração de ADF depende do tipo da peça produzida e varia entre 0,8 e 1 tonelada para cada tonelada de fundido (BRASIL, 2010c).

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) o Brasil é o 9º produtor mundial de fundidos, com uma produção, em 2018, de 2,91 milhões de toneladas. A indústria de fundição de peças em ferro, aço e ligas não ferrosas, é um segmento da economia que emprega cerca de 55.000 trabalhadores, tendo faturado 7,1 bilhões de dólares em 2019, em cerca de 1.017 empresas do setor (ABIFA, 2020).

A fundição compreende todo processo de fusão e vazamento de metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal. Os moldes são formados pela compactação da areia sobre o modelo e conformam as faces externas da peça, os machos constituem-se em cavidades ou espaços vazios e conformam as suas faces internas (CARNIN, 2008).

As ADF podem ser distinguidas em dois tipos principais que são a areia verde de fundição (AVF) cujo ligante é a argila bentonita ( $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e a areia ligada quimicamente (ALQ) com diferentes ligantes, como por exemplo, resina fenólica ou furânica (SCHEUNEMANN, 2005).

O resíduo resultante do descarte da AVF, no processo de desmoldagem de peças fundidas, e composto principalmente de mineral silicoso, é denominado resíduo de areia verde de fundição (RAVF) (CARNIN *et al.*, 2010). Este resíduo, é classificado como Classe II-A, não perigoso e não inerte (CARNIN, 2008).

As empresas ao redor do planeta, descartam um enorme percentual do RAVF em pequenos aterros industriais Classe II-A, próprio ou de terceiros. A maioria deles, já se encontram com as suas capacidades esgotadas, tendo que ser fechados, ocorrendo a obrigatoriedade do seu envio para aterros maiores (UE, 2018). A logística necessária, neste caso, eleva os custos com transporte e energia para as indústrias metalúrgicas.

Devido ao RAVF apresentar uma grande quantidade de metais em sua constituição, sua disposição no aterro deve ser controlada através de análises químicas das águas subterrâneas e de amostras de solos coletadas ao longo do seu perfil. Estudos realizados por Penkaitis e Sígolo (2012) em um aterro Classe II-A, demonstram elevadas concentrações dos metais Fe, Mn, B e Se, nas águas subterrâneas, especialmente nos piezômetros a jusante do aterro, onde se encontrava a área de disposição do resíduo. Utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram encontrados incrustados nos grãos de quartzo das amostras de solos os metais Al, Fe, Mn, além de elementos potencialmente tóxicos como Cr, Cu, Co, Ni e Zn. Estes resíduos foram classificados como Classe II, não perigosos, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a).

A disposição do RAVF em solos deve ser cautelosa, principalmente em solos arenosos e siltosos. A elevada quantidade de SiO<sub>2</sub> deste resíduo, encontrada em tamanho areia (ou textura arenosa) facilita a drenagem de água pelo perfil do solo facilitando a lixiviação dos nutrientes contidos no mesmo (SILVA, 2010). Tal perda de nutrientes diminui a fertilidade do solo. Além da maior concentração de macroporos em materiais de textura arenosa (como o RAVF), há menor cargas de superfície o que também leva à diminuição da concentração de seus nutrientes em solos. Verifica-se, desta forma, que na construção de solos misturados a RAVF é interessante que ocorra a adição de matéria orgânica (MO) para que esta possa incrementar a fertilidade das misturas.

Domingues *et al.* (2016) realizaram experimentos misturando o RAVF com solos lateríticos argilosos, visando o seu reuso para aplicação geotécnica como cobertura para aterros sanitários. O coeficiente de permeabilidade encontrado para esta mistura foi baixo ( $k < 10^{-6}$  cm/s), ficando dentro do previsto em normas de execução para aterros sanitários.

A reutilização do RAVF em solos agrícolas ou na compostagem é mais restrita (CARNIN, 2008), ainda devem ser desenvolvidas legislações específicas para esta finalidade a nível global (UE,2018).

Matéria orgânica (MO), papel, papelão, tecidos, materiais poliméricos, vidro, madeira, metais ferrosos e não ferrosos são os componentes predominantes da composição física dos RSU. Este resíduo, por apresentar constituintes que se solubilizam em água, são considerados Classe II-A (ALFAIA, COSTA e CAMPOS, 2017). No Brasil, 61% dos RSU coletados, é encaminhada para aterros sanitários, 39% destes resíduos ainda são dispostos inadequadamente em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2022).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2020b), no país são gerados 62,78 milhões de toneladas por ano de RSU, sendo que a parcela orgânica destes resíduos

equivale a 50 a 60 % do total, ou seja, cerca de 31-38 milhões de toneladas são geradas anualmente no Brasil. Estudos de Kaza *et al.* (2018) demonstraram que aproximadamente 46% dos RSU, enviados para os aterros sanitários, em nível global, são constituídos de resíduos sólidos orgânicos (RSO). Os RSO segregados dos RSU, após tratamento podem ser considerados fertilizantes orgânicos classes B, de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a). Estes resíduos, quando dispostos em lixões ou aterros controlados, são decompostos constituindo-se em fontes contínuas de potencial poluição da água, solo, ar, flora e fauna, devido à proliferação de vetores, geração de chorume e emissão dos gases de efeito estufa (GEE), principalmente o metano (CH<sub>4</sub>), que alteram as condições climáticas do planeta (ABRELPE, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n° 12.305 de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010a) e regulamentada pelo Decreto Federal n° 7.404/2010 (Brasil, 2010b), que foi substituído, em 2022, pelo decreto 10.936 (Brasil, 2022), não permite que os RSO compostáveis sejam enviados para aterros. Ela estabelece a seguinte prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reuso, reciclagem, tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, dos resíduos sólidos que não apresentem possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (BRASIL, 2010a).

A pesquisa em questão teve início com uma análise da literatura, configurando-se como uma ferramenta fundamental para a condução consistente deste estudo, embasada em evidências científicas. Após a revisão bibliográfica, procedeu-se a execução das etapas práticas da pesquisa, iniciando-se com a segregação do RSO em um condomínio na fonte (fertilizante orgânico classe A), por moradores de um condomínio residencial vertical formado por 72 unidades habitacionais, localizada no município de Novo Hamburgo/RS - Brasil. Estes resíduos foram colocados em caixas, com minhocas Vermelhas da Califórnia, e biodegradados ao estado de húmus de minhoca (vermicomposto). Também nesta primeira etapa da pesquisa foi realizada a segregação do RSO do RSU (fertilizante orgânico classe B) em uma estação de transbordo pertencente ao Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre, RS-Brasil. Este resíduo foi compostado em um sistema automatizado de compostagem, com aeração forçada, construído em escala piloto no LEAmet, possuindo controle de injeção de ar, temperatura e umidade.

O vermicomposto obtido da biodegradação dos RSO por minhocas e o composto obtido pela biodegradação de bactérias aeróbias, foram misturados com diferentes taxas do RAVF e substrato comercial (0-50% m/m), formando os substratos, aqui denominados, do Tipo I (com

vermicomposto) e Tipo II (com composto maturado), respectivamente. O substrato comercial, adicionado aos substratos Tipos I e II, teve como objetivo a sustentação de mudas da *Avena Strigosa* (aveia preta) e o fornecimento de condições adequadas para o desenvolvimento e funcionamento do seu sistema radicular. A viabilidade técnica para possível reuso do RAVF baseou-se em análises químicas de fertilidade, na análise da matéria seca (MS), dimensões lineares (comprimento e largura) e de nutrientes do tecido vegetal da aveia preta, cultivada nestes dois tipos de substratos. Por meio dos resultados, determinou-se quais taxas de RAVF são mais adequadas como aditivo para substratos e fertilizantes orgânicos, recuperação de áreas degradadas (RAD), corretivo para acidez de solos ou para o plantio de espécies vegetais na agricultura, no caso específico deste trabalho, para a aveia preta. Esta pesquisa constitui-se em um modelo de economia circular, através da produção de substratos vegetais, envolvendo o reuso do RAVF e a compostagem do RSO, diminuindo desta forma o desperdício destes resíduos ao mínimo, alargando os seus ciclos de vida.

## 1.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A partir dos dados apresentados anteriormente, foi definida a seguinte questão de pesquisa: Existe viabilidade técnica e ambiental para a utilização de diferentes taxas da mistura de RAVF e substrato comercial para o preparo de um substrato vegetal?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e ambiental da adição de diferentes taxas de aplicação RAVF e substrato comercial a compostos, visando a obtenção de um substrato vegetal que possa ser utilizado no plantio da aveia preta ou como corretivo para acidez de solos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

a) Avaliar o processo e a qualidade dos fertilizantes orgânicos obtidos através da vermicompostagem, realizada com RSO segregado na fonte, em um condomínio e da

compostagem, com RSO segregado do RSU, realizada em uma planta piloto com sistema de aeração forçada e automação.

b) Avaliar as taxas de RAVF, mais adequadas a serem adicionadas aos substratos Tipos I (vermicomposto + substrato comercial + RAVF) e II (composto maturado + substrato comercial + RAVF), que garantam a maior fertilidade dos meios de cultura.

c) Avaliar as taxas de RAVF adicionadas aos substratos do Tipo I e II que garantam o fornecimento mais adequado de: nutrientes, dimensões e produção de MS para a *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta).

d) Comparar os resultados em relação as melhores taxas de RAVF, adicionadas aos substratos Tipos I e II, que apresentem a maior viabilidade técnica e ambiental de utilização.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho delimitou-se ao estudo da formação substratos constituídos por diferentes taxas de substrato comercial e RAVF 0-50% (m/m), adicionados a uma taxa fixa de 50% (m/m) de compostos maturados, obtidos do RSO, segregado na fonte, submetido a vermicompostagem em caixas e do RSO segregado do RSU compostado em uma bombona com um sistema de circulação de ar forçado e controle automatizado de temperatura e umidade.

Para a verificação da aplicabilidade dos substratos Tipos I (vermicomposto) e II (composto maturado), no cultivo de plantas, foi realizado o plantio de apenas uma espécie vegetal, a *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta) nestes meios e avaliados, os nutrientes em tecido vegetal, dimensões e matéria seca (MS) desta gramínea. Está forrageira de inverno, foi escolhida para o plantio, nos diferentes tipos de substratos vegetais formados, por apresentar uma boa produção de biomassa, por ser uma excelente opção para pastagem de animais, adubação verde e por ser cultivada, com boa aceitação, no Rio Grande do Sul, estado brasileiro onde foi realizada esta pesquisa. Não existem dados atualmente em literatura sobre a construção destes tipos de substratos e que utilizem aveia preta para avaliar a fertilidade dos mesmos.

Foram realizados apenas estudos de viabilidade técnica e ambiental para a utilização dos substratos Tipos I e II, sendo necessário desenvolver em trabalhos futuros, estudos de viabilidade econômica, comparando-se, os custos envolvidos para a preparação destes substratos em relação à logística de transporte e disposição do RAVF em aterros industriais Classe II-A.

O RAVF foi fornecido por uma empresa metalúrgica localizada em Porto Alegre-RS, Brasil. Os RSO compostáveis da vermicompostagem foram fornecidos por moradores de um

condomínio residencial localizado no município de Novo Hamburgo-RS, Brasil, local este, onde ocorreu a vermicompostagem. Os RSO compostáveis, utilizados na planta piloto, localizada no Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAmet) localizado no Campus do Vale/UFRGS, foram fornecidos pela estação de transbordo, Lomba do Pinheiro (ETLP), do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) do município de Porto Alegre- RS, Brasil.

#### 1.4 INEDITISMO

Os pontos considerados inéditos nesta pesquisa, são citados a seguir na forma de tópicos:

- Construção de um protótipo para ser inserido na bombona de PEAD (planta piloto) com aberturas, onde foram inseridos sensores, conectados a uma placa de arduíno, para leitura *online* de temperatura e umidade ao longo do processo de compostagem.
- Construção de um sistema automatizado para o controle da aeração forçada do processo de compostagem, utilizando arduino, relé e soprador.
- Adição de diferentes taxas de RAVF e substrato comercial (0-50 % m/m) a uma taxa fixa de compostos orgânicos (50% m/m), formando os substratos do Tipo I (com vermicomposto) e do Tipo II (com composto maturado) e posterior avaliação da fertilidade destes substratos vegetais.
- Avaliação dos nutrientes, dimensões e MS da *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta) cultivada nos substratos Tipos I e II, através da comparação com padrões de cultivo desta gramínea em solos naturais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo trata das formas de obtenção de compostos maturados, abordando a compostagem, suas técnicas de produção de composto por sistemas de aeração forçada e automação e a vermicompostagem. Outras questões importantes discutidas neste capítulo são os conceitos relativos ao resíduo de areia verde de fundição, fertilidade de solos, ciclo vegetativo de plantas, morfologia e análise de tecidos de plantas, visto que a presente pesquisa trata da formação de substratos, que serão avaliados em termos de fertilidade e através de uma planta bioindicadora, a partir de diferentes taxas de RAVF e substrato comercial adicionadas a compostos maturados.

### 2.1 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Considera-se Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) a fração orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Os RSU são divididos em resíduos domiciliares (RDO) e Resíduos Sólidos Públicos (RPU). Os RPU são os resíduos gerados na limpeza de praças, resíduos de descartes irregulares etc. e resíduos da construção civil (RCC) de pequenos geradores e outros resíduos volumosos, como mobiliários descartados, com exceção de resíduos industriais e resíduos de serviços de saúde (BRASIL, 2010a). É importante mencionar que nem todos os RSO são passíveis de compostagem, como por exemplo: madeira tratada, borracha e couro (SIQUEIRA e ASSAD, 2015).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305/2010) (Brasil, 2010a) estipulou o envio obrigatório dos RSO para a compostagem. Ela prevê, no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação, pelo titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto (BRASIL, 2010a). Desta forma, entende-se que a promoção da compostagem da fração orgânica compostável dos RSU, assim como a implantação da coleta seletiva e da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, faz parte do rol de obrigações dos municípios.

Quando RSO são dispostos em lixões ou aterros controlados, sem a correta segregação, eles causam elevados impactos ambientais, como a emissão de biogás com importante conteúdo de gás metano (contribuinte antrópico de emissões de gases do efeito estufa), chorume (líquido de cor escura e elevada carga orgânica), que podem contaminar o solo e as águas, ocasionando maus odores e favorecendo a proliferação de vetores de doenças (BRASIL, 2019). Os resíduos

orgânicos dispostos em aterros sanitários passam por um processo mitigador de captação e tratamento do chorume gerado e drenagem do biogás, sistemas inexistentes nos lixões e em muitos aterros controlados.

A compostagem é processo biológico de valorização da MO, que resulta em uma redução, em volume, de até 50% da massa orgânica em peso seco, fornecendo MO estabilizada, sendo considerada de baixo custo. A compostagem aparece como uma das alternativas mais promissoras para um país essencialmente agrícola, como é o caso do Brasil, se destacando por permitir a reciclagem de moléculas orgânicas (Santos *et al.*, 2014).

Dados do IBGE publicados no ano de 2000, mostram que existem 251 unidades de compostagem no Brasil, representando apenas 4,6% do destino da fração orgânica de resíduos sólidos gerados no país (IBGE, 2000).

De acordo com a Figura 1, verifica-se que existe uma grande concentração de usinas de compostagem no Brasil, situadas nas regiões sul e sudeste, ao longo da costa litorânea brasileira.

Figura 1 - Usinas de compostagem no Brasil

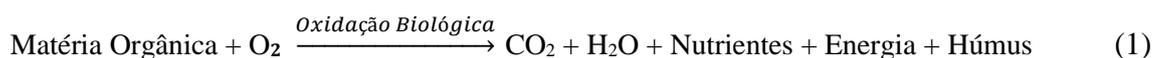


Fonte: Virando a Terra (2021)

Segundo a NBR 13591 (ABNT, 1996, p.2), a compostagem é um processo de:

[...] decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvida em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e a outra de maturação.

Na compostagem, as substâncias nutritivas, como carboidratos, aminoácidos, lipídios e proteínas, são rapidamente decompostas por microrganismos. Peixoto (2012) demonstra, através da Equação 1, que em sistemas de compostagem, a MO dos resíduos é oxidada por microrganismos aeróbicos termofílicos e mesofílicos, liberando calor, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, nutrientes e composto estabilizado, húmus, que pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.



### 2.1.1 Fontes e classificação do material orgânico para a compostagem

Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas fontes: i) materiais ricos em carbono (C) e ii) dos materiais ricos em nitrogênio (N).

Entre os materiais ricos em C pode-se considerar os materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas e feno, e papel. Entre os materiais ricos em N incluem-se as folhas verdes, estrumes animais, urinas, restos de vegetais hortícolas, etc. (CERRI, 2008; FERNANDES, S.M., 2015). O papel pode ser utilizado, mas não deve exceder 10% da pilha (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Os materiais para compostagem não devem conter vidros, plásticos, tintas, óleos, metais, pedras etc. tampouco conter um excesso de gorduras (porque podem libertar ácidos graxos de cadeia curta como o acético, o propiônico e o butírico os quais retardam a compostagem e prejudicam o composto), ossos inteiros (os ossos só se devem utilizar se forem moídos), ou outras substâncias que prejudiquem o processo de compostagem (CERRI, 2008). A carne deve ser evitada nas pilhas de compostagem porque pode atrair animais (CUSTÓDIO, 2011).

O conhecimento da origem onde os materiais são gerados também se constitui em um aspecto importante para a classificação dos compostos orgânicos. A Instrução Normativa (IN)

publicada pela secretaria de defesa agropecuária (SDA), IN SDA nº 61, de 08 de julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2020a) diferencia os compostos de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção como pertencentes às classes A e B conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Classes dos compostos levando-se em conta a segregação das matérias-primas de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a)

Classe	Composição
A <sup>1</sup>	Produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais, agroindustriais e comerciais, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuárias 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 coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
B	Produto que utiliza, em sua produção, quaisquer quantidades de matérias-primas orgânicas geradas nas atividades urbanas, industriais e agroindustriais, incluindo os RSO dos RSU 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 o seu uso autorizado pelo órgão ambiental, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

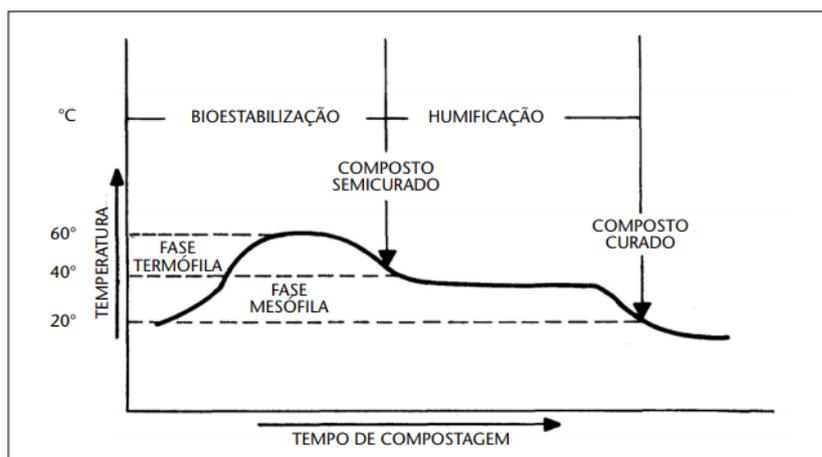
Fonte: Brasil (2020a)

### 2.1.2 Fases da compostagem

O processo de compostagem pode ser dividido em três fases: ativação inicial, fase termófila e fase mesófila (LIM, LEE e WU, 2016). Kiehl (2004) relata que a fase de ativação inicial é rápida, o composto se encontra cru ou imaturo. De acordo com Sarkar, Pal e Chanda (2016) a fase termófila é uma fase muito dinâmica onde ocorre alta atividade microbiana para acelerar a degradação da MO. Nesta fase também ocorre a higienização do composto. A fase mesófila é considerada a fase de maturação do composto em que predominam temperaturas moderadas. Kiehl (1995) divide a compostagem em duas fases a de bioestabilização ou de degradação da MO, onde o composto ao final da fase encontra-se semicurado e a de humificação ou de maturação, onde o composto ao final da fase encontra-se curado (Figura 2).

<sup>1</sup> Podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de fertilizante orgânico classe “A”, os resíduos provenientes de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, desde que segregados na fonte geradora.

Figura 2 - Fases da compostagem



Fonte: Kiehl (1985)

Observando-se a Figura 2, verifica-se que a faixa de temperatura da fase termófila situa-se entre 40-60°C e a da fase mesófila entre 20-40°C.

### 2.1.3 Parâmetros de qualidade

O conhecimento dos parâmetros de qualidade existentes para avaliação do processo de compostagem de resíduos orgânicos compostáveis, principalmente quando advindos da fração orgânica, constitui-se em fatores primordiais para a normalização e garantia de controle de qualidade ambiental do composto, garantindo, desta forma, a sua decomposição.

Os principais parâmetros que influenciam a qualidade do composto produzido são: os microrganismos, a umidade, a aeração, o tempo e a temperatura ao longo do processo, a granulometria da MO a ser decomposta, o pH e a relação C/N (FERNANDES *et al.*, 2000; SOUZA, CARMO e PAIVA, 2020).

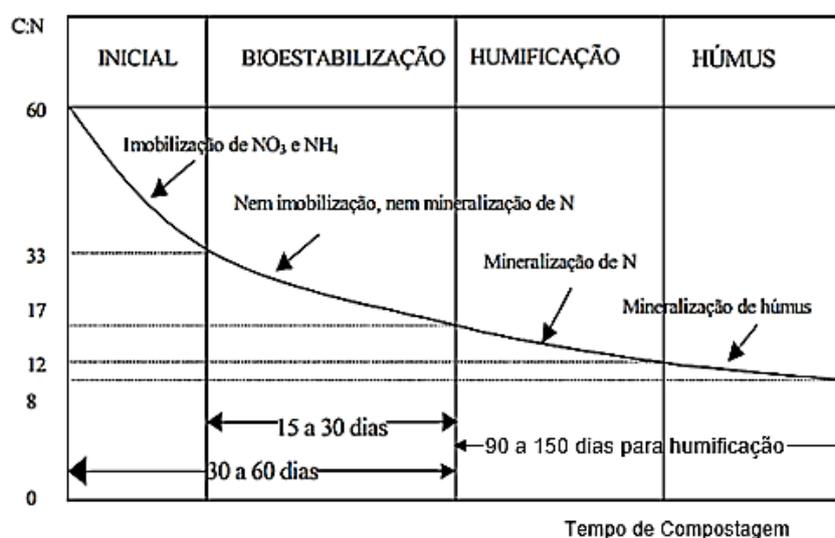
Uma alta relação C/N limita o processo de compostagem devido a um excesso de substrato degradável para os microrganismos, pelo fato de que os materiais residuais contendo a maior quantidade de C disponível apresentarem menor temperatura durante a fase termofílica, enquanto que uma baixa relação C/N fornece um excesso de N por C degradável, como consequência o N inorgânico é produzido em excesso, sendo volatilizado na forma de  $\text{NH}_4^+$  ou lixiviado, principalmente durante os revolvimentos do material para oxigenação e controle da temperatura (LIM, LEE e WU, 2016).

Resíduos orgânicos com relação C/N na proporção 60:1, levam de 30 a 60 dias para bioestabilizar, se a relação C/N estiver entre 60:1 e 33:1, o N solúvel é transformado em

orgânico, não solúvel, ficando imobilizado (por exemplo na forma de  $C_5H_7NO_2$ ). Se a proporção for 33:1, a MO crua atingirá a bioestabilização, não haverá imobilização no N mineral no solo, mas também não acontecerá o processo de mineralização (devolução do “N” emprestado), esse processo se dará, efetivamente, a partir de 17:1. Assim, ao aplicar ao solo MO com elevada relação C/N, pode-se produzir deficiências que chegam a matar as plantas (BIDONE e POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004).

A Figura 3 representa as etapas de transformação do C/N ao longo da compostagem. Os parâmetros citados na Resolução CONAMA 481 (Brasil, 2017) para qualidade ambiental são: a temperatura (parâmetro físico) e o tempo (grandeza física) para a higienização dos resíduos sólidos do composto, a relação C/N para o composto maturado (parâmetro químico), e a sua granulometria (parâmetro físico).

Figura 3 – Relação C/N ao longo do processo compostagem



Fonte: Bidone e Povinelli (1999)

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) publicou, em outubro de 2017, a Resolução nº481 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 481<sup>2</sup>) (Brasil, 2017) visando o estabelecimento de critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos e a proteção do meio ambiente, buscando reestabelecer o ciclo natural da MO e seu papel de fertilizar solos. O art. 6 desta resolução exige que o processo de compostagem garanta uma relação  $C/N \leq 20:1$  e que o composto deva ser

<sup>2</sup> Esta resolução não se aplica para produtos comercializados diretamente com o consumidor final ou quando o composto é utilizado para uso próprio, salvo resíduos orgânicos industriais.

peneirado com malha de abertura máxima de 40 mm, abrindo exceção, dentre outros, para a matéria-prima utilizada na fabricação de fertilizantes organominerais.

As Tabelas 1 a 8 apresentam os principais parâmetros utilizados para a avaliação do processo de compostagem encontrados na legislação e literatura.

A Tabela 1 corresponde aos parâmetros físicos da compostagem. Avaliados preliminarmente, estes mostram uma avaliação abrangente, tanto em relação a aspectos do processo em si, como também com respeito às especificações do composto já pronto.

Tabela 1 - Limites para parâmetros físicos avaliados no processo de compostagem nas diferentes fases e no composto maturado

Parâmetro	Especificação	Unidade	Limite	Referência (ano)
Densidade	Composto	kg/m <sup>3</sup>	150-350	Barros (2012)
Temperatura	Fase Mesófila	°C	20-40	CEMPRE (2018), KIEHL (1985)
	Fase Termófila		40-60	
	Composto	°C	3-5 acima da temperatura ambiente	Barros (2012)
Umidade	Processo de Compostagem	% (m/m) *	40-60	CEMPRE (2018), KIEHL (1985)
	Composto		≤ 50	IN SDA 61 (Brasil,2020a)

Fonte: O Autor (2020) \* % (m/m) = porcentagem massa/massa

Os limites da umidade e temperatura do processo de compostagem devem ser monitorados para o controle da atividade microbológica dos microrganismos (bactérias heterotróficas, actinobactérias e fungos) decompositores dos RSO. A umidade quando está deficiente, abaixo de 40%, reduz a decomposição da MO, valores maiores que 60% bloqueiam a sua porosidade, causando anaerobiose e odor, ocorrendo a fermentação do processo (CEMPRE, 2018). De acordo Oliveira Filho et al. (2017) a temperatura afeta o desenvolvimento dos microrganismos, cada um deles apresenta uma faixa adequada para o crescimento: psicrófilos (15°C a 20°C), mesófilos (25°C a 40°C) e termófilos (50°C a 60°C). Acima de 45°C, os mesófilos podem morrer, uma pequena parcela de fungos cresce acima de 50°C, acima de 60°C ocorre a letalidade de microrganismos termófilos e actinobactérias.

A Resolução CONAMA 481 (Brasil, 2017) no seu art.8º estabelece que o procedimento para análise do parâmetro físico granulometria para o composto orgânico, tal como o apresentado nesta resolução, não necessita ser realizado quando a sua finalidade for para: fabricação de substratos para plantas, condicionadores de solos e matéria-prima para fertilizantes organominerais.

A Tabela 2, corresponde aos parâmetros químicos da compostagem. Estes valores são relevantes para o monitoramento do processo em si, com vistas à obtenção de um composto de boa qualidade.

Tabela 2 - Limites para parâmetros químicos avaliados no processo de compostagem nas diferentes fases e no composto maturado

Parâmetro	Especificação	Unidade	Limite	Referência (ano)
Carbono Orgânico (mín.)	Composto	% (m/m)	15,0	IN SDA 61 (Brasil, 2020a)
Condutividade elétrica (máx.)	Composto	mS/cm	< 4,0	Dhein <i>et al.</i> (2020)
Relação C/N (máx.)	Composto	-	20,0	IN SDA 61 (Brasil, 2020a)
			≤ 20,0	CONAMA (Brasil, 2017)
pH	Inicial	-	5,0 - 6,0	Dhein <i>et al.</i> (2020)
	Composto	-	8,0 - 9,5	
CTC	Composto*	cmol <sub>c</sub> /kg**	30,5 - 31,7	Melo, Silva e Dias (2008)

Fonte: O Autor (2020) \* composto comercial \*\* cmol<sub>c</sub>/kg = centímol carga<sup>3</sup> por quilograma

Na Tabela 3 são apresentados os limites mínimos de macronutrientes primários e secundários adotados para garantir a qualidade e aptidão do composto destinado à agricultura.

Tabela 3 - Teores mínimos de macronutrientes para fertilizantes orgânicos de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a)

Nutriente	Componente (forma analisada)	Teor mínimo (%)
Macronutriente primário	*N (N)	0,50
	**P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,00
	**K (K <sub>2</sub> O)	1,00
Macronutriente secundário	**Ca	1,00
	**Mg	1,00
	**S	1,00

Fonte: Adaptado de Brasil (2020a) \* fertilizante orgânico composto sólido \*\* fertilizantes organominerais.

Na Tabela 4 estão os parâmetros de avaliação dos micronutrientes para fertilizantes orgânicos, pois existem metais que, mesmo em pequena proporção são fundamentais ao desenvolvimento vegetal equilibrado.

<sup>3</sup> O centímol carga (cmol<sub>c</sub>) é a centésima parte do mol, equivale a meq/100cm<sup>3</sup> (miliequivalente em 100cm<sup>3</sup>), por exemplo, o Ca<sup>2+</sup>, o mol é 40/2 = 20: o centímol de carga é igual a 0,20 g (centésima parte do mol).

Tabela 4 - Teores mínimos de micronutrientes para fertilizantes orgânicos de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a)

Parâmetro*	Teor mínimo (%)
B	0,010
Cl	0,100
Co	0,005
Cu	0,020
Fe	0,020
Mn	0,020
Mo	0,005
Ni	0,005
Se	0,003
Si	0,050
Zn	0,100

Fonte: Brasil (2020a) \* fertilizantes organominerais.

Para um composto é necessário avaliar suas condições de uso, em termos de conteúdo de metais tóxicos (Tabela 5), este parâmetro deve ter os seus limites estudados para estabelecer condições de uso seguro e evitar efeitos deletérios na saúde humana e no meio ambiente.

Tabela 5 – Limites máximos de metais tóxicos para países da Europa, Brasil e Estados Unidos com normas para certificação para composto

País	Limite (mg/kg)								
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Áustria	-	4,0	150,0	-	400,0	500,0	4,0	100,0	1000,0
Bélgica	-	5,0	150,0	10,0	100,0	600,0	5,0	50,0	1000,0
Suíça	-	3,0	150,0	25,0	150,0	150,0	3,0	50,0	500,0
Dinamarca	25,0	1,2	-	-	-	120,0	1,2	45,0	-
França	-	8,0	-	-	-	800,0	8,0	200,0	-
Alemanha	-	1,5	100,0	-	100,0	150,0	1,0	50,0	400,0
Itália	10,0	1,5	100,0	-	300,0	140,0	1,5	50,0	500,0
Holanda	15,0	1,0	70,0	-	90,0	120,0	0,7	20,0	280,0
Espanha	-	40,0	750,0	-	1750,0	1200,0	25,0	400,0	4000,0
EUA	-	10,0	1000,0	-	500,0	500,0	5,0	100,0	1000,0
Brasil	20,0	3,0	70,0	-	70,0	150,0	1,0	70,0	200,0

Fonte: Adaptado de Brinton (2001) e Silva *et al.* (2004)

Avaliando-se os dados desta tabela, verifica-se que a Holanda se caracteriza por ser o país mais limitante quanto à presença da maioria dos metais tóxicos, enquanto a Espanha possui valores mais tolerantes para todos os elementos químicos.

Quanto ao Brasil, os valores limites para os metais tóxicos, mostrados na Tabela 5, segue a legislação IN SDA 7 (Brasil, 2016a) para As, Cd, Pb, Hg, Ni e a IN SDA 17 (Brasil, 2014) para o Cu, Zn e o Cr. A legislação brasileira para metais tóxicos em composto orgânico está na média dos países europeus, com os índices mais baixos para cobre e zinco em relação aos outros países.

Em relação aos parâmetros biológicos, a resolução CONAMA 481 (Brasil, 2017) apresenta, no seu art.5º, faixas de temperatura e tempo para a fase termofílica da compostagem, com vistas ao processo de tratamento de redução de patógenos para sistemas abertos e fechados conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Período de tempo e temperatura necessários para higienização dos compostos de acordo com a CONAMA 481 (Brasil, 2017)

Sistema de Compostagem	Temperatura (°C)	Tempo (dias)
Sistema Aberto	> 55	14
	> 65	3
Sistema Fechado	> 60	3

Fonte: Brasil (2017)

As definições de sistema aberto e fechado, mostradas na Tabela 6, são apresentadas por Lima (2004), o autor define sistema aberto de compostagem como aquele realizado a céu aberto, em pátio de maturação e sistema fechado como sendo aquele onde a compostagem é feita através de dispositivos especiais tais como digestores, bioestabilizadores, torres e células de fermentação. A IN SDA 7 (Brasil, 2016a) apresenta os principais parâmetros microbiológicos estudados no processo de compostagem. Eles estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Principais parâmetros microbiológicos estudados no processo de compostagem de acordo com a IN SDA 7 (Brasil, 2016a)

Parâmetro	Limite
Coliformes Termotolerantes	1000,00 NMP/g de MS*
Ovos viáveis de Helmintos	1,00 em 4g ST*
<i>Salmonella sp.</i>	Ausência em 10g de MS

Fonte: Brasil (2016a) \*NMP/g de MS= número mais provável por grama de matéria seca

\*\* ST= sólidos totais.

### 2.1.4 Sistemas de automação e aeração forçada

O estudo da automação no processo de compostagem, justifica-se na medida em que se constitui em uma ferramenta tecnológica que proporciona às unidades de compostagem o controle de aquisição de dados de parâmetros de qualidade de forma contínua ao longo do processo, além de possibilitar possíveis intervenções de rega e aeração, manuseio de motores, diminuição de custos energéticos e recursos humanos. O monitoramento automatizado pode ser aplicado em qualquer processo de compostagem, desde que haja um acompanhamento diário de todo o sistema (SILVA, 2019).

Dentro da seleção de dispositivos para automação para materiais sólidos e sistemas de compostagem, podem estar: controladores do sistema de aeração, como por exemplo: temporizadores, controlador lógico programável (PLC), sensores de temperatura e umidade, como por exemplo: termo-higrômetros, sensor de temperatura DHT22, sensor de umidade YL-69, medidores de pH, módulos para armazenamento de dados, entre outros (CAMBOIM, 2019; FERNANDES *et al.*, 2000; HIJAZIN, MONARETTO e TUBINO, 2020).

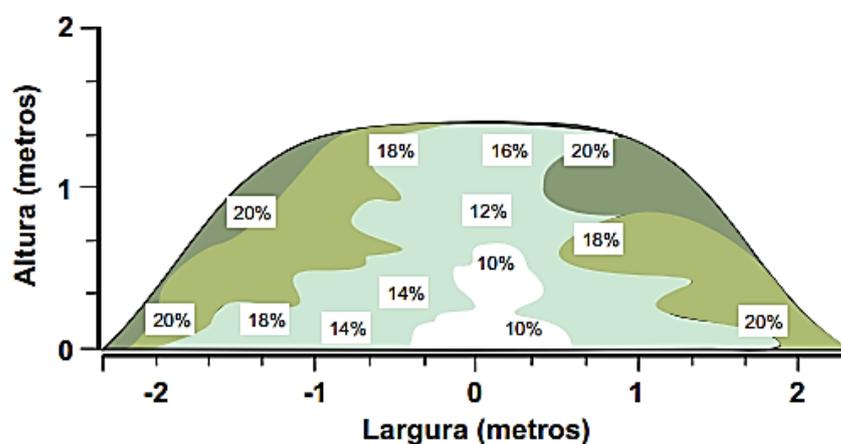
O método de compostagem com aeração forçada consiste em dispor o material a ser decomposto sobre um sistema mecanizado de injeção de ar, não necessitando de reviramento manual e acelerando o processo de decomposição aeróbica (CAMBOIM, 2019).

Kader *et al.* (2007) afirmam que a aeração excessiva pode fazer com que a perda de calor seja mais intensa do que a produção de calor microbiano, aumentando a produção de gases poluentes como  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Para conseguir uma boa distribuição de oxigênio, em sistemas de aeração forçada em toda a massa, se faz necessária a adição de um material de suporte (folhas, triturado de poda ou de madeira) que proporcione a estrutura e porosidade para os resíduos compostarem (BRASIL, 2015).

Epstein (1997) afirma que a aeração forçada é uma maneira mais eficiente que o revolvimento de leiras para manutenção do processo de compostagem, via suprimento de oxigênio, principalmente na fase termófila. Enquanto a compostagem com aeração com revolvimento mecânico, sistema windrow, leva de 60 a 90 dias, mais 45 a 60 dias para humificação, a compostagem com aceleração forçada leva de 45 a 60 dias até a fase de humificação (BIDONE e POVINELLI, 1999; CEMPRE, 2018).

A Figura 4 apresenta diferentes concentrações de oxigênio em uma pilha de compostagem com aeração forçada (BRASIL, 2015). Observa-se, nesta pilha, que as zonas mais externas apresentam grande quantidade de oxigênio e as zonas mais internas apresentam menor quantidade de oxigênio.

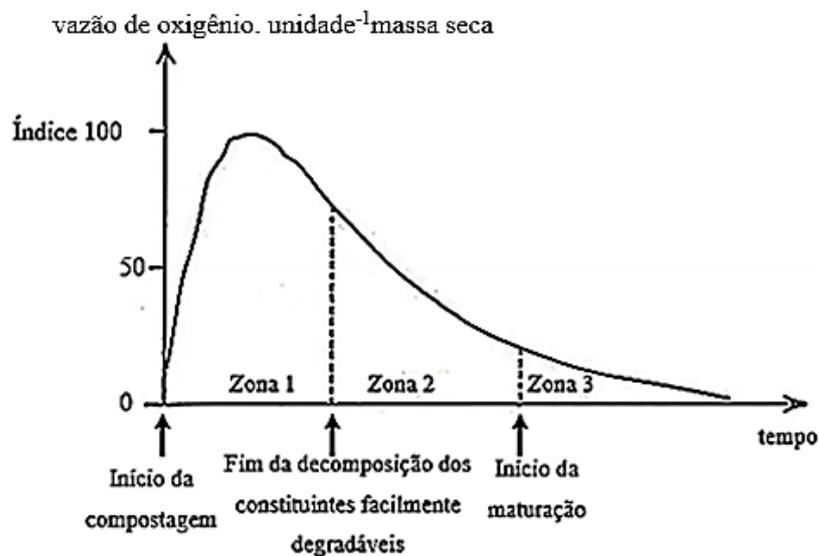
Figura 4 - Concentrações de oxigênio em uma pilha de compostagem com aeração forçada



Fonte: Brasil (2015)

De acordo com Mustin (1987) a demanda biológica de oxigênio varia durante a decomposição orgânica, em três zonas conforme mostra o gráfico da Figura 5.

Figura 5 – Curva teórica da demanda da taxa de oxigênio ao longo da compostagem

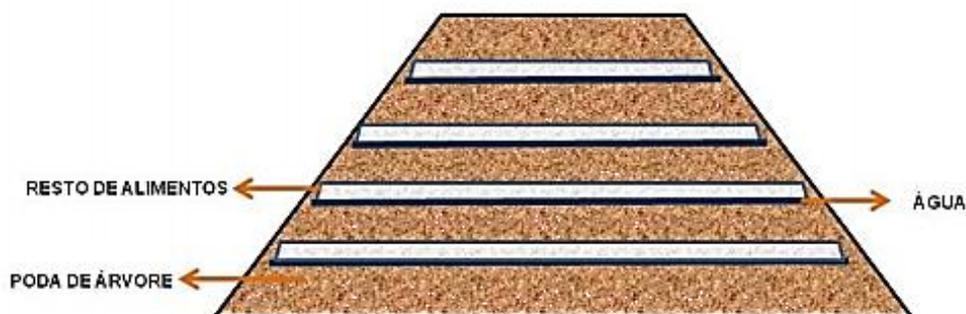


Fonte: Mustin (1987)

Mustin (1987) afirma que na Zona 1 do gráfico da Figura 5, ocorre a máxima atividade de decomposição dos microrganismos, a taxa de aplicação de oxigênio é elevada (0,5 a 1  $\text{m}^3/\text{min.t}$  de matéria seca). Na zona 2, com o declínio da atividade de decomposição, a taxa de oxigênio reduz (0,5 a 0,1  $\text{m}^3/\text{min.t}$  de matéria seca), até a fase de maturação, Zona 3, na qual a demanda é mínima (0,1  $\text{m}^3/\text{min.t}$  de matéria seca).

Nunes (2009), conforme a Figura 6, sugere que para a uma boa aeração de uma LEA construída em pequena escala, para a produção de adubo orgânico, a alternância entre camadas de 15cm a 20 cm de gramíneas, capins, folhas secas, caules, galhos, podas, etc. e camada com espessura de 5 a 7 cm de esterco e folhas verdes de leguminosas que devem ser trituradas ou cortadas. A compostagem pode ser sem esterco também, utilizando-se uma mistura de 2/3 de resíduos ricos em carbono, que tendem a ser mais duros e lenhosos como os galhos, folhas secas, palhas, caules, etc, com 1/3 de material rico em nitrogênio como os brotos de plantas, grama cortada, folhas e caules verdes de plantas leguminosas, restos de verduras, de frutas. Esses materiais, nestas proporções, devem ser misturados de forma homogênea, umedecidos (sem encharcar) e colocados na forma de LEA ou pilha. A alternância entre poda de árvore, folhas, galhos secos, etc. rica em C, e material orgânico como restos de alimentos compostáveis, fonte de N, é realizada a fim de estabelecer um equilíbrio na umidade, na porcentagem de ar e nos teores de C/N ideais no interior da pilha do composto.

Figura 6 – Sequência de montagem do material compostado em uma LEA



Fonte: Silva (2019)

São diversos os sistemas para a realização da compostagem, que envolvem aeração forçada ou acelerada, entre eles destacam-se as LEA, reatores biológicos e a compostagem em pilotos de pequena escala, utilizando-se bombonas plásticas de polietileno de alta densidade (PEAD). O Quadro 2, apresenta as principais vantagens e limitações dos diferentes sistemas de aeração forçada de compostagem.

Quadro 2 - Principais vantagens e limitações dos sistemas de compostagem com aeração forçada

Sistema de Compostagem com Aeração Forçada	Vantagem	Limitação
Leira Estática Aerada	Baixo investimento inicial.	Sistema de compostagem influenciado pelo clima.
	Bom controle de odores, com possibilidade de se implementar sistemas de automação.	Maior necessidade de área do que reatores biológicos e bombonas de PEAD.
	Etapa de estabilização mais rápida do que no sistema de revolvimento mecânico do composto.	Necessidade de bom dimensionamento de sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem.
Reator Biológico	Menor demanda de área.	Maior investimento inicial em relação a LEA e bombonas de PEAD.
	Independência de agentes climáticos.	Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção.
	Facilidade para se implementar sistemas de automação e controle de aeração.	Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado.
	Melhor controle do processo de compostagem, com potencial de recuperação de energia térmica.	Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variados de resíduos.
Bombona de PEAD	Menor investimento que LEA e reatores biológicos.	Necessidade de local coberto para o controle do clima.
	Facilidade de operação.	Dificuldade de limpeza para produções em batelada.
	Menor demanda de área que LEA e reatores biológicos.	Sistema limitado a volumes menores de resíduos.
	Facilidade para se implementar sistemas de automação e controle de aeração.	A compostagem ocorre predominantemente na fase mesófila, devendo-se ter cuidado com o período de tempo e temperatura para a higienização do composto.

Fonte: Adaptado de Fernandes e Silva (1999), Camboim (2019) e May, Barreto e Alessi (2021).

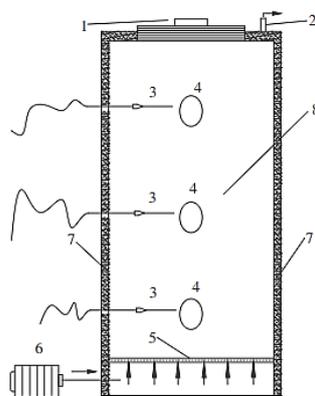
Estudos de sistemas de aeração e automação do processo de compostagem, realizados por Silva (2019), utilizando LEA, foram realizados utilizando-se um ventilador centrífugo para insuflar ar na LEA através de um tubo de PVC perfurado coberto por brita nº1 para evitar entupimento. O sistema constituiu-se também de: sensor de umidade, sensor de temperatura e sensor de oxigênio. Silva (2019) construiu uma LEA com formato trapezoidal e sensores em seis pontos. O monitoramento com sensores ocorreu ao longo de 40 dias, eles facilitaram a aquisição dos dados que se mostraram mais confiáveis. Os pontos mais internos da LEA apresentaram temperaturas menores, devido a maior umidade e dificuldade de aeração. Os pontos mais externos apresentaram maior facilidade de circulação de ar, apresentando

temperaturas mais elevadas. O sistema contribuiu para um maior controle de rega do material e intervenções na injeção de ar ao longo do processo de obtenção do composto maturado.

Em relação aos ciclos de aeração no processo de compostagem em LEA, Ermolaev *et al.* (2012), relatam aplicações de ar durante 1min a cada intervalo de 10 min, Ruggieri *et al.* (2008), relatam 5 minutos a cada 30 minutos, nos primeiros 50 dias de compostagem e 5 minutos de aplicação a cada 60 minutos nos 40 dias restantes. Silva (2019) descreve em sua pesquisa, ciclos de aeração a cada 3 dias, nos primeiros 30 dias de compostagem no período vespertino, por um tempo de 15 minutos.

Chen *et. al* (2015) realizaram pesquisas com diferentes taxas de aplicação de ar e monitoramento de temperatura automatizado em reator biológico. Três sensores de temperatura do tipo PT-100 foram colocados no centro do reator, em 3 pontos distintos, portas laterais do reator com 5cm de diâmetro, localizadas a 17cm, 47cm e 77cm a partir da base do reator como mostra a Figura 7

Figura 7 – Sistema de aeração e automação em um reator biológico



Fonte: Chen *et. al* (2015) (1) tampa removível (2) saída de gás (3) sensores de temperatura (4) porta amostral (5) grade de aço inoxidável (6) bomba de aeração (7) cistosepiment de estireno (polímero isolante térmico) (8) reator

Os seguintes resultados foram encontrados por Chen *et. al* (2015): a compostagem neste reator ocorreu ao longo de 32 dias, com ciclos de aeração intermitente. Os sensores de temperatura indicaram que a compostagem em todos os pontos de medição alcançou a fase termofílica ( $T \geq 55^{\circ}\text{C}$ ), independente da taxa de aplicação de ar por massa de material orgânico. Altas taxas de injeção de ar, causaram perda excessiva de calor e não garantiram o período mínimo de higienização do composto e maior degradabilidade da MO. Baixas taxas de injeção de ar dificultaram a degradabilidade da MO, dificultando o metabolismo dos microrganismos.

O sistema automatizado de controle da temperatura possibilitou a intervenção de rega no processo contribuindo para a obtenção de um produto com maior qualidade.

Camboim (2019), realizou uma pesquisa, envolvendo sistemas de aeração e automação em bombonas plásticas de PEAD dispostas verticalmente, durante aproximadamente 60 dias, até a obtenção do produto maturado, e contou com os seguintes materiais: 2 bombonas de 200L de 82cm de altura, 2 sopradores de 0,8 HP, um cano de PVC com 3 furos para saída de ar na face superior, e um cano com 9 furos, dispostos em conjunto de três furos nas posições  $-45^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$  e  $+45^{\circ}$ . Uma torneira foi colocada no fundo de cada bombona, sendo utilizada para a coleta de chorume e uma rede de nylon foi colocada na parte superior de ambas bombonas, para evitar vetores e insetos. As bombonas estavam dispostas em um local com cobertura para evitar intervenções do clima, apenas foram colocadas tampas sem vedação sobre elas e telas de nylon, não constituindo-se desta forma em um sistema fechado, como um reator biológico.

Para o controle da aeração Camboim (2019) utilizou um temporizador modelo PDST 01 e para a medição da temperatura e umidade do material compostado foi utilizado um termo-higrômetro modelo 7664. O termo-higrômetro foi posicionado na posição central da bombona, a cerca de 20 cm de profundidade a partir da borda da bombona.

Os resultados encontrados por Camboim (2019) mostraram que a compostagem nas bombonas, ocorreram na fase mesofílica, pois a temperatura em ambas bombonas manteve-se abaixo de  $40^{\circ}\text{C}$ , ao longo do processo de compostagem. A injeção de ar na bombona cuja tubulação da sua base apresentava 9 furos não garantiu uma maior degradação da MO em relação a bombona que apresentava 3 furos na tubulação da sua base. Em ambas as bombonas a umidade manteve-se abaixo de 40%, sendo que a tubulação com 9 furos, levou a perdas de umidade e calor mais elevadas, levando-se à conclusão da necessidade de se otimizar os ciclos de aeração e a vazão de ar por massa de material orgânico, para um melhor dimensionamento do sistema de aeração.

Camboim (2019), em sua pesquisa com compostagem em bombonas, aplicou ciclos de aeração diários da seguinte forma: 20 min de aeração (sopradores ativados), seguidos por 1 h e 10 min, sem aeração (sopradores desligados), ocorrendo dessa forma em sequência de 16 vezes ao longo das 24 h de cada dia.

Os estudos de casos apresentados para sistemas de automação e aeração em LEA, reatores biológicos e bombonas em PEAD, contribuem para o aprofundamento das pesquisas nesta área, sendo necessário um aprofundamento maior do estudo em sistemas mais simples de pequena escala, e de menor custo, como o sistema de compostagem em bombonas.

## 2.2 VERMICOMPOSTAGEM

De acordo com a IN SDA 25 (Brasil, 2009a) vermicomposto é o produto resultante da digestão, pelas minhocas, da MO proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos.

A vermicompostagem constitui-se em um método alternativo de compostagem, na qual se utilizam minhocas para digerir a MO, provocando sua degradação, melhorando a aeração e a drenagem do material em etapa de maturação. É um processo que ocorre em quatro fases, uma fase inicial de crescimento exponencial com ativa atuação dos vermes, uma fase de equilíbrio do processamento com relativa estabilidade no número de indivíduos, uma fase de pequena diminuição das minhocas, e uma fase de intenso declínio, quando o material se apresentar completamente maturado (BIDONE e POVINELLI, 1999).

De acordo com Landgraf *et. al* (1999) na vermicompostagem, as minhocas comem diariamente o equivalente ao seu próprio peso e de todo material ingerido por elas, cerca de 60% são transformados em húmus de minhoca de qualidade, sendo desta forma, uma alternativa interessante não só pelo aproveitamento da fração degradável dos resíduos orgânicos, como também por contribuir à minimização de impactos ambientais, ao aumento de vida útil dos aterros sanitários, à geração de empregos, etc.

Segundo a EMATER/RS (2018), o tempo de maturação do RSO no processo de vermicompostagem pode demandar de 45 a 50 dias, dependendo da quantidade de minhocas usadas por metro quadrado e das condições de temperatura e umidade do meio. Análises apontam que entre 56 e 90 dias já existe resíduo maturado, pois o composto atinge a temperatura ambiente, mas quando se considera a relação C/N ideal próximo de 10 como indicador de um composto maturado, o tempo da vermicompostagem pode ocorrer de 90 até 135 dias (COTTA *et al.*, 2015; NUNES, 2017). De acordo com Bidone e Povinelli (1999) e Edwards e Fletcher (1988) a obtenção do vermicomposto leva entre 60 e 90 dias para ficar pronto.

A vermicompostagem foi desenvolvida a partir de pesquisas básicas realizadas por programas de manejo de minhocas por volta de 1940, na Califórnia, Estados Unidos e no Brasil a partir da década de 1970. Cada minhoca apresenta comprimento de cerca de 10cm e peso entre 0,5 e 0,6 g, para que vivam e proliferem bastam-lhes 3 mg/L de O<sub>2</sub>, as minhocas preferem temperaturas entre 12°C e 25°C (AQUINO, 2009; BIDONE e POVINELLI, 1999; DIONÍSIO, 2020).

A espécie de minhocas *Eisenia foetida*, também conhecida como minhoca Vermelha da Califórnia, é amplamente utilizada na vermicompostagem. Este verme segmentado alimenta-se

de resíduos orgânicos pela boca, e inicia a sua digestão pela contração dos músculos da parede da faringe, após envia os alimentos para o esôfago, armazena-os no papo e tritura-os na moela. O intestino da minhoca decompõe substâncias complexas, apresentando diversas enzimas digestivas, protease, lipase, amilase, celulase e quitinase, e absorve nutrientes. A excreção deste verme ocorre pelo ânus e é denominada húmus de minhoca ou vermicomposto.

A Tabela 8 mostrada os dados, contidos no Anexo III da IN SDA 25 (BRASIL, 2009a) e no Art. 8º da IN SDA 61 (BRASIL, 2020a) estabelece as garantias para registro no MAPA para húmus de minhoca.

Tabela 8 - Garantias de qualidade para húmus de minhoca conforme IN SDA 25 (Brasil, 2009a) e IN SDA 61 (Brasil, 2020a)

<b>Parâmetro</b>	<b>Húmus de minhoca</b>
Umidade % (máx.)	50,0
N % (mín.)	0,5
Carbono Orgânico % (mín.)	10,0
pH (mín.)	6,0
Relação C/N* (máx.)	14,0

Fonte: Brasil (2009a) e Brasil (2020a) \* Garantia presente apenas na IN SDA 25/2009

Materiais fibrosos, com alta relação C/N e conseqüentemente pobres em N, criam limitações para o desenvolvimento da vermicultura (AQUINO, 1992)

### 2.3 COMPOSTOS MATURADOS APLICADOS A SOLOS E PLANTAS

De acordo com Guedes (2006) os compostos orgânicos maturados, obtidos no processo de compostagem ou vermicompostagem, provocam no solo: aumento de teores de carbono orgânico (CO), fertilidade, proteção mecânica contra os danos causados pela água, formação e estabilização dos seus agregados, crescimento dos sistemas radiculares em plantas, aumento da microbiota e a prevenção à perda por erosão do solo, devido à percolação da água ao longo do seu perfil.

Van Ham e Teshima (2005) e Tordoff *et al.* (2000) explicitam que resíduos orgânicos podem melhorar aspectos físicos (porosidade, densidade e agregação), favorecendo o crescimento radicular das plantas. Também podem melhorar aspectos químicos relacionados à fertilização do solo, redução da lixiviação de nutrientes, redução das perdas de água e amenização de efeitos fitotóxicos por parte de contaminantes.

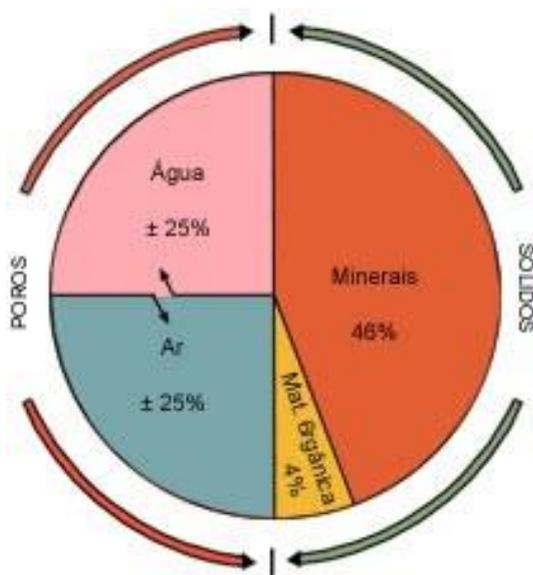
Compostos maturados podem ser utilizados na agricultura como corretivo e fertilizante de solos, apresentando diversos benefícios, entre eles: por ser um produto natural pode ser utilizado em qualquer tipo de cultura, evita ou reduz o uso de fertilizantes químicos, favorece a proliferação dos microrganismos no solo, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), que, retendo elementos essenciais para as plantas, aumenta a fertilidade do solo, estimula o crescimento de folhas e novos brotos, reduz a erosão de solos, aumenta a quantidade de macroporos do solo (BIDONE e POVINELLI, 1999).

## 2.4 SOLOS NATURAIS

O solo é uma coleção de corpos naturais tridimensionais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, são dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados. Se modificados por interferências humana, originam os antropossolos (SANTOS *et al.*, 2018).

De acordo com Manahan (1999) o solo é o principal substrato no qual as plantas se desenvolvem, sendo formado por diversas partículas de rochas em diferentes estágios de decomposição, água e substâncias químicas dissolvidas, ar, organismos vivos e MO (Figura 8). Na maioria dos solos, os teores de MO dificilmente atingem 5%, principalmente em se tratando de solos cultivados por algum tempo (RAIJ, 1981).

Figura 8 - Elementos constituintes do solo

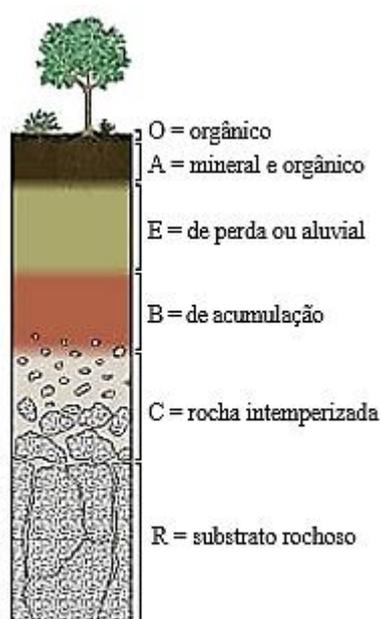


Fonte: Lepsch (2011)

### 2.4.1 Perfil de solos naturais

De acordo com Landgraf, Messias e Rezende (2005), o resultado da ação dos fatores físicos, químicos e biológicos sobre o solo e seus produtos de alteração é o aparecimento gradual de uma série de camadas, com estrutura e composição diferentes, chamadas horizontes. O conjunto dos horizontes é denominado perfil do solo e apresenta-se em camadas denominadas O, A, E, B, C e R (Figura 9).

Figura 9 - Representação do perfil de um solo e seus horizontes



Fonte: Adaptado de Press *et al.* (2006)

O horizonte O é o superficial, com MO recente ou em decomposição. O horizonte A do solo é a camada mineral escurecida, pela acumulação de MO, em grande parte humificada, próxima à superfície e é empobrecida por perdas de materiais sólidos translocados para o horizonte B. O horizonte E é de cores claras, de onde as argilas e outras partículas finas perdidas por lixiviação para o horizonte B. O horizonte B é aquele que acumula materiais provenientes dos horizontes superiores como argilas e óxidos de alumínio e ferro. O horizonte C é constituído por fragmentos de rochas desintegradas do horizonte R, carbonatos de cálcio e magnésio acumulam-se nesta camada. O horizonte R é a rocha matriz ou originária do solo (LANDGRAF, MESSIAS e REZENDE, 2005; LEPSCH, 2011; SANTOS *et al.*, 2018).

Nem todos os horizontes estão presentes em todos os perfis de solos, ao contrário de solos naturais nos quais predominam processos pedogenéticos padrão, há solos onde o principal

fator de formação e diferenciação para solos naturais advém do fator de intervenção humana. De acordo com Teixeira (2015) tais solos são ditos antropossolos, solos construídos, solos fabricados, antropogênicos, ou ainda tecnógenos. Pesquisas em torno dos antropossolos vêm ganhando espaço na pedologia<sup>4</sup> e geografia devido ao volume de solos nesta categoria.

#### 2.4.2 Fertilidade do solo

A fertilidade tem sido conceituada como "a capacidade do solo de ceder elementos essenciais às plantas" (BRAGA, 1983). Raij (1981) acrescenta que esta capacidade deve ser mantida durante todo o crescimento e desenvolvimento da planta, mesmo que esta deixe de absorver ou utilizar, numa determinada fase de seu ciclo.

De acordo com IPNI (2017), 70% dos solos cultivados no Brasil apresentam alguma limitação séria de fertilidade e normalmente tem caráter ácido. As classes latossolos e argissolos ocupam aproximadamente 58% da área do território brasileiro, constituindo-se em solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, saturados por alumínio (SANTOS *et al.*, 2009)

No Brasil, as normas de fertilizantes destinados à agricultura são determinadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de acordo com Instruções Normativas (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SAD). As determinações CTC, saturação da CTC<sub>efetiva</sub> por Al (%m), saturação da CTC<sub>pH 7,0</sub> por bases (%T), formas trocáveis, acidez ativa (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>), índice SMP, acidez total, de troca ou potencial (H+Al), relações entre cátions trocáveis, MO, nutrientes e textura do solo citadas a seguir, compõem a análise básica (ou de rotina) determinadas pelos laboratórios da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e Santa Catarina -ROLAS (SBCS, 2016):

- Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

De acordo com Artico (2018), a CTC de um solo diz respeito ao número de cargas negativas na superfície dos colóides e dá ideia de sua capacidade de adsorção de nutrientes catiônicos que se ligam a estas partículas. Estes cátions, que podem ser básicos como K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, ou ácidos como o Al<sup>3+</sup> ou H<sup>+</sup>, são mantidos na argila ou nas partículas orgânicas do

---

<sup>4</sup> A Pedologia, como ramo da Ciência do Solo, trata de estudos relacionados com a identificação, a formação, a classificação e o mapeamento dos solos.

solo e podem ser substituídos por outros cátions, a exemplo do  $K^+$  que pode ser substituído por cátions como  $Ca^{2+}$  ou  $H^+$  e, portanto, são chamados de trocáveis.

Quanto maior a CTC, maior a capacidade de doar nutrientes terá o solo. De acordo com Fageria e Stone (2006), a CTC funciona também como indicador do poder tampão do solo, ou seja, a sua capacidade de resistir às mudanças no pH, sendo os principais fatores que afetam este parâmetro de fertilidade do solo, a textura, a quantidade e tipo de argila e teor de MO.

A CTC é calculada pela soma de cátions básicos trocáveis ( $K^+$ ;  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , e as vezes  $Na^+$ ) e dos cátions ácidos ( $H^+$  +  $Al^{+3}$ ) (SBCS, 2016). O cálculo da CTC pode incluir  $H^+$  (CTC total) ou excluir (CTC efetiva); o cálculo da CTC efetiva a  $pH=7,0$  é calculada como mostra a Equação 2:

$$CTC_{efetiva} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + Al^{+3} \quad (2)$$

CTC alta significa que os nutrientes adsorvidos pelas partículas de solo estão em balanço com a solução do solo e não são facilmente carregados pelas águas das chuvas (SADAVA *et al.*, 2011). Solos brasileiros geralmente apresentam carga negativa e valores de  $CTC_{pH\ 7,0} \leq 5,0\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Estes valores são considerados baixos. A adição de MO é uma solução para aumentar a CTC (SBCS, 2016). Além do teor de MO no solo, a mineralogia também influencia a CTC.

Há argilas do tipo 1:1 com uma camada de estruturas de sílica ( $SiO_2$ ) e a outra camada de estrutura de alumina ( $Al_2O_3$ ) e as argilas 2:1 com duas camadas de  $SiO_2$  e uma camada de  $Al_2O_3$ . Valores de CTC maiores do que  $15\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$  indicam presença de argila 2:1 como a illita, montmorilonita e vermiculita. Valores de CTC menores que  $5\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$  indicam a predominância de argila 1:1 como a caulinita (SOBRAL *et.al*, 2015). Nos latossolos os minerais predominantes na fração argila são argila do tipo 1:1, caulinita e óxidos de ferro e alumínio, que conferem valores de  $CTC \leq 17\ \text{cmol}_c\ \text{kg}^{-1}$ . Nos solos argilosos os minerais predominantes são argilas de atividade baixa (caulinita) e/ou óxidos, que contribuem para o valor de  $CTC < 27\ \text{cmol}_c\ \text{kg}^{-1}$ , sendo possível também apresentar o caráter alítico (EMBRAPA, 2021).

De acordo com a SBCS (2016) a CTC do solo pode ser classificada em baixa, média, alta e muito alta, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação da CTC do solo

Faixa	CTC <sub>pH 7,0</sub> (cmol/dm <sup>3</sup> )
Baixa	≤ 7,5
Média	7,6 - 15,0
Alta	15,1 – 30,0
Muito alta	> 30

Fonte: SBCS (2016)

- Saturação da CTC<sub>efetiva</sub> por Al (%m)

Saturação por alumínio indica a proporção de alumínio solúvel em relação à CTC<sub>efetiva</sub> do solo como mostra a Equação 3 (SBCS, 2016).

$$\%m = \frac{Al^{+3}}{CTC_{efetiva}} \quad (3)$$

Os solos muito pobres, álicos, apresentam  $\%m \geq 50\%$ , no que diz respeito à fertilidade do solo. A saturação por alumínio não deve ser superior a 20%, que é considerado um valor alto. Solos com percentuais de saturação por alumínio de até 10% apresentam toxidez por  $Al^{+3}$  baixa (SBCS, 2016; SOBRAL, *et.al.*, 2015).

- Saturação da CTC<sub>pH 7,0</sub> por Bases (%T)

A fração, CTC (calculada a pH=7,0) ocupada pelos cátions de reação básica representa a porcentagem das cargas negativas do solo neutralizadas por cátions de reação básica, denominada saturação por bases, sendo calculada utilizando-se a Equação 4 (SBCS, 2016). A expressão alta saturação aplica-se a solos eutróficos (férteis) com  $\%T \geq 50\%$  e baixa saturação para solos distróficos (pouco férteis) com  $\%T < 50\%$  (MENDES, 2007).

$$\%T = \frac{S \times 100}{CTC_{pH 7,0}} \quad (4)$$

Em que: S = soma dos cátions da reação básica ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) em  $cmol/dm^3$ .

- Formas Trocáveis

As formas catiônicas mais disponíveis e móveis no solo são denominadas, formas trocáveis. Nas análises químicas para avaliação de fertilidade determinam-se os teores trocáveis dos cátions  $\text{Al}_{\text{troc}}^{3+}$  (ácido),  $\text{Ca}_{\text{troc}}^{2+}$  e  $\text{Mg}_{\text{troc}}^{2+}$  (básicos). A acidez trocável é representada pelo  $\text{Al}_{\text{troc}}^{3+}$  que gera acidez no solo e inibe o crescimento radicular, influenciando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Solos brasileiros apresentam elevada acidez trocável, em razão do alto grau de intemperização e da intensa lixiviação de  $\text{Ca}_{\text{troc}}^{2+}$  e  $\text{Mg}_{\text{troc}}^{2+}$ . O processo de calagem (adição de  $\text{CaCO}_3$  ou  $\text{MgCO}_3$ ), neutraliza o  $\text{Al}_{\text{troc}}^{3+}$  do solo, elevando a concentrações dos cátions básicos trocáveis, que são importantes para a nutrição das plantas.

Para valores de  $\text{Al}_{\text{troc}}^{3+} > 0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , recomenda-se a correção do pH do solo para valores acima de 5,5 provocando sua saída da solução do solo via precipitação (SBCS, 2016; SOBRAL *et al.*, 2015). A Tabela 10 apresenta a interpretação das formas trocáveis extraíveis do solo.

Tabela 10 - Interpretação dos teores trocáveis dos cátions alumínio, cálcio e magnésio extraíveis do solo

Elemento	Interpretação ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ )				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
$\text{Al}_{\text{troc}}^{3+}$ *	$\leq 0,20$	0,21 – 0,50	0,51 – 1,00	1,01 – 2,00	$> 2,00$
$\text{Ca}_{\text{troc}}^{2+}$ **	-	$\leq 2,00$	2,10 – 4,00	$> 4,00$	-
$\text{Mg}_{\text{troc}}^{2+}$ **	-	$\leq 0,50$	0,60 – 1,00	$> 1,00$	-

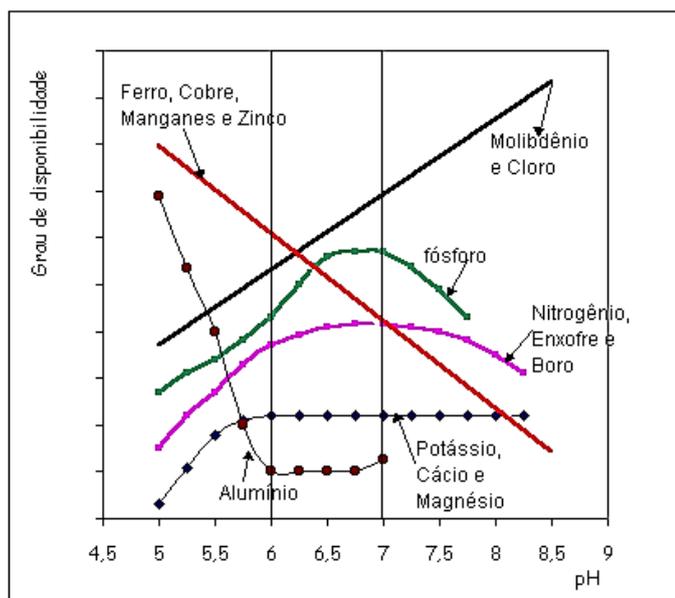
Fonte: Adaptado de \*Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e \*\*SBCS (2016)

- Acidez Ativa ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ )

De acordo com Melo, Marques e Melo (2001), o pH é a propriedade do solo que interfere de forma mais intensa na disponibilidade dos metais. Exceto para As, Mo, Se e alguns estados de valência do Cr, os metais têm suas disponibilidades reduzidas quando há elevação do pH, em decorrência da formação de precipitados, aumento da intensidade de adsorção aos colóides do solo e por conferir maior estabilidade aos complexos que se formam entre os metais e a fração húmica dos solos.

Solos calcários apresentam pH entre 7 e 8, quando o pH é próximo de 9, indica a presença de Na (SOBRAL, *et al.*, 2015). O pH indica a acidez ativa ou a alcalinidade relativa da solução aquosa diluída no substrato. Seu conhecimento permite relacionar diretamente à disponibilidade de nutrientes, como mostra a Figura 10.

Figura 10- Amplitude de pH e sua relação com a disponibilidade de nutrientes e alumínio



Fonte: Malavolta (1979)

- Índice SMP

O índice SMP (de Shoemaker, McClean e Pratt, autores do método), baseia-se na diminuição do pH de uma solução tamponada a pH=7,5 quando em contato com o solo. Tal diminuição do pH é proporcional à acidez potencial do solo, que é fator determinante da quantidade de corretivo necessária para neutralizar a acidez.

A acidez potencial do solo diminui à medida que o índice SMP aumenta. Este índice determina a necessidade de calagem (adição de  $\text{CaCO}_3$ ) e a verificação de acidez potencial em solos. Para valores de índice SMP  $\geq 7,1$  não é necessário a adição de  $\text{CaCO}_3$  para elevar o pH do solo a 5,5, 6,0 e 6,5 (RAIJ, 1981; SBCS, 2016).

- Acidez Total, de Troca ou Potencial (H+Al)

Os íons  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^+$  presentes na fração argila está intimamente relacionada com a acidez destes solos, constituindo-se o que se denomina acidez potencial.

De acordo com Kaminski *et al.* (2001), a acidez potencial informa a magnitude da calagem (quantidade de  $\text{CaCO}_3$  a aplicar) sendo estimada pelo índice SMP. A acidez potencial diminui à medida que o índice SMP aumenta; seu valor é expresso em  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  (Equação 5):

$$\text{H} + \text{Al} = \frac{e^{(10,665 - 1,1483 \cdot \text{SMP})}}{10} \quad (5)$$

Valores de acidez potencial baixo são menores que  $2,51 \text{ cmol}/\text{dm}^3$ , médio de  $2,51 - 5,00 \text{ cmol}/\text{dm}^3$  e alto acima de  $5,00 \text{ cmol}/\text{dm}^3$  (Ribeiro, Guimarães e Alvarez, 1999).

- Relações entre Cátions Trocáveis

Os laudos de análises químicas podem conter diversas relações entre cátions. As mais comuns são: Ca/Mg, Ca/K e Mg/K. Estas relações são denominadas de Razão da Saturação de Cátions Básicos (BCSR) e são utilizadas por muitos autores para a verificação de nutrientes nas plantas e para o manejo adequado de cálcio e magnésio no solo (KOPITKE e MENZIES, 2007; SBCS, 2016). A Tabela 11 apresenta quatro faixas para interpretação da BCSR para solos.

Tabela 11 - Faixas para relações BCSR

Faixas	Relações		
	Ca/K*	Mg/K*	Ca/Mg**
Baixo	< 7	< 2	-
Médio	7-14	2-4	-
Adequado	15 - 25	5-15	1-5
Alto	> 25	> 15	-

Fonte: Adaptado de \*Souza e Lobato (2004) e \*\*SBCS (2016)

- Matéria Orgânica (MO)

O manejo da MO no solo tem implicações significativas no balanço global do C e mudanças climáticas. Além de ser fonte de nutrientes, a MO do solo apresenta cargas de superfície para a CTC do solo (LEITE, 2004; SILVA *et al.*; 2021).

Teores de MO  $\leq 2,5\%$  no solo são considerados baixos, entre 2,6-5,0% são teores médios e teores maiores que 5% são considerados altos (SBCS, 2016). Com base na MO, avalia-se indiretamente a disponibilidade de N do solo.

O N é pouco absorvido pelas plantas, sendo o nutriente mais limitante da produtividade da maioria das culturas (BARKER e BRYSON, 2006<sup>5</sup> *apud* ARTICO, 2018). Alguns laboratórios indicam o teor de C orgânico (CO) ao invés da MO. Para se encontrar o teor de MO, utiliza-se o fator de Van Bemmelen, mostrado na Equação 7 (TEDESCO *et al.*, 1995; BRAGA, 2012).

$$\% \text{ MO} = \text{CO} \times 1,723 \quad (6)$$

- Nutrientes do Solo

A SBCS (2016) interpreta a disponibilidade de P para plantas de acordo com a classe de teor de argila, já a disponibilidade de K é função da  $\text{CTC}_{\text{pH}=7,0}$  como mostra a Tabela 12.

O P e o K disponíveis constituem-se os um dos principais macronutrientes, avaliados em uma análise de solos. A extração do P e do K realizada pelos laboratórios integrantes da ROLAS, ocorre pelo método Mehlich-1<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> BARKER, A. V.; BRYSON G. M. Nitrogen. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. Handbook of Plant Nutrition. Boca Raton: CRC –Taylor & Francis Group, p. 21-50, 2006.

<sup>6</sup> O método Mehlich-1 utiliza para extração dos macronutrientes P e K de solos uma solução composta de 0,05 mol/L de HCl e 0,0125 mol/L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Tabela 12 – Classes de disponibilidade de fósforo e potássio no solo

Faixas	Classe de teor de argila (%)				CTC <sub>pH=7,0</sub> do solo (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	≤ 7,5	7,6 – 15,0	15,1 - 30,0	> 30,0
	P (mg/dm <sup>3</sup> )				K (mg/dm <sup>3</sup> )			
<b>Muito Baixo</b>	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 5,0	≤ 15,0	≤ 20,0	≤ 30,0	≤ 35,0
<b>Baixo</b>	1,5 – 3,0	2,1 – 4,0	3,1 – 6,0	5,1 - 10,0	16,0- 30,0	21,0- 40,0	31,0- 60,0	36,0- 70,0
<b>Médio</b>	3,1-4,5	4,1 - 6,0	6,1 - 9,0	10,1 - 15,0	31,0- 45,0	41,0- 60,0	61,0- 90,0	71,0- 105,0
<b>Alto</b>	4,6 - 9,0	6,1 - 12,0	9,1 - 18,0	15,1 - 30,0	46,0- 90,0	61,0- 120,0	91,0- 180,0	106,0- 210,0
<b>Muito Alto</b>	> 9,0	> 12,0	> 18,0	> 30,0	> 90,0	> 120,0	> 180,0	>210,0

Fonte: Adaptado de SBCS (2016)

Os principais micronutrientes, avaliados em uma análise de solos, pelos laboratórios integrantes da ROLAS, são: Zn, Cu, B e Mn. Solos do RS e SC, raramente estes nutrientes apresentam teores abaixo do necessário para culturas anuais, entretanto, podem ocorrer deficiências em solos arenosos com baixo teor de MO e/ou com pH elevado (SBCS, 2016). A Tabela 13 apresenta a interpretação dos micronutrientes e do macronutriente secundário S no solo.

Tabela 13- Interpretação de micronutrientes e enxofre no solo

Elemento	Interpretação (mg/dm <sup>3</sup> )		
	Baixo	Médio	Alto
S	≤ 2,0	2,1 – 5,0	> 5,0
Cu	< 0,2	0,2 -0,4	> 0,4
Zn	< 0,2	0,2 -0,5	> 0,5
Mn	< 2,5	2,5 – 5,0	> 5,0
B	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3

Fonte: SBCS (2016)

- Textura do Solo

A determinação do teor de argila em amostras de solo, é necessária para estabelecer a classe textural do solo e interpretar o teor de P do solo extraído pelo método Mehlich-1. O solo pode apresentar classe textural arenosa, média, argilosa e muito argilosa, dos estados do

RS, SC e MG, correspondente respectivamente às classes 4, 3, 2 e 1 de argilas, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Classificação da textura do solo nos estados do RS, SC e MG

Textura	Teor de Argila		Classe
	RS e SC*	MG**	
arenosa	≤ 20	< 15	4
média	21-40	15-35	3
argilosa	41-60	35-60	2
muito argilosa	> 60	> 60	1

Fonte: Adaptado de \*SBCS (2016) e \*\*Larcher (2004)

Solos argilosos, com predominância de microporos, são pesados ou de textura fina. Solos arenosos, com predominância de macroporos, ou solos com baixo teor de argila são considerados leves ou de textura grosseira. Os termos leve ou pesado decorrem respectivamente da menor e maior resistência que solos oferecem à aração. Solos argilosos apresentam maior capacidade para retenção de nutrientes e água, por outro lado, solos excessivamente arenosos não apresentam essas propriedades, em grande intensidade (RAIJ, 1981).

## 2.5 AVEIA PRETA

A *Avena Strigosa Schreb* é uma gramínea utilizada como forrageira de inverno, para pastejo direto ou conservação na forma de feno ou silagem (SALERNO e VETTERLE, 1984).

Segundo Pereira (1985), a aveia preta tem sido destinada ao manejo e conservação do solo, como cobertura do solo e como adubação verde. Nakagawa, Cavariene e Machado (1994) afirmam que a aveia preta pode ser utilizada em semeadura direta, por ser grande produtora de biomassa e por ser, de decomposição mais lenta que as leguminosas empregadas em adubo verde.

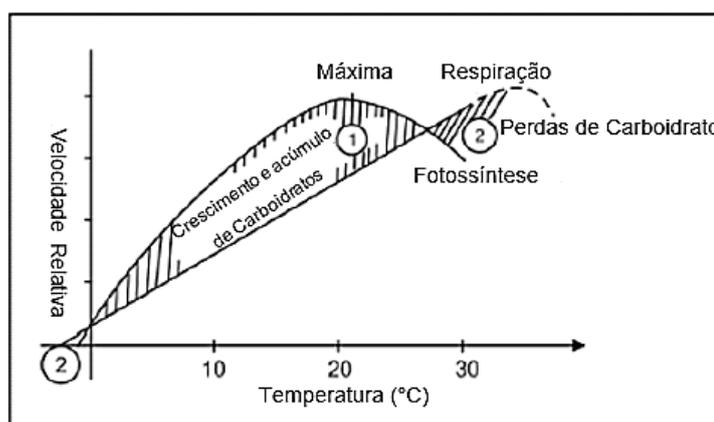
### 2.5.1 Ciclo vegetativo

De acordo com Lopes (2020) as fases do ciclo vegetativo de uma planta são respectivamente: a germinação da semente, o crescimento da raiz, caule e folhas, a floração e finalmente a produção e maturação dos grãos, contendo as sementes. Estudar o ciclo vegetativo

da aveia preta, levando-se em conta parâmetros para o seu crescimento em solos naturais, constituem-se em uma referência para o estudo da sua sementeira em substratos antrópicas.

Os principais parâmetros para avaliar o crescimento vegetal da aveia preta são: umidade do meio de cultura, temperatura ambiente, índice pluviométrico, MS e dimensões lineares: comprimentos da parte aérea, foliar e radicular e largura foliar (AMORIM, 2020; BLASER e NOVAES, 1990; CRUZ *et al.*, 2013; FLOSS, 1998; FANTE JUNIOR *et al.*, 1999; EMBRAPA, 2000; SBCS, 2016; SILVA *et al.*, 2000). O crescimento das espécies vegetais também é influenciado também pela sua absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera. A Figura 11 mostra que o crescimento e a fotossíntese da aveia preta são maximizados próximo à temperatura de 20°C.

Figura 11 – Curva de respiração e fotossíntese para a aveia preta



Fonte: Amorim (2020)

De acordo com EMBRAPA (2000) temperaturas acima de 32°C, na fase de florescimento da aveia, podem provocar esterilidade e acelerar a maturação dos grãos.

De acordo com Souza, Azevedo e Araújo (2012) precipitações abaixo de 2mm/dia são de pouca importância para a agricultura. A aveia preta não tolera solos encharcados e com altos teores de alumínio, sendo recomendado precipitação superior a 800mm/ano (EMBRAPA, 2000).

Estudos realizados por Bacchi *et al.* (1996) determinaram que o cultivar de aveia forrageira, São Carlos, consome em média 4 mm/dia de água. Souza, Azevedo e Araújo (2012) elaboraram faixas para a intensidade de precipitação (P) que foram classificadas em dia seco, com chuva muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte para um período de 24h. A Tabela 15 apresenta esta classificação.

Tabela 15 - Classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24h

Classificação	Intensidade (mm)
Dia Seco (DS)	$P < 2,2$
Chuva Muito Fraca (Cmf)	$2,2 \leq P < 4,2$
Chuva Fraca (Cf)	$4,2 \leq P < 8,4$
Chuva Moderada (CM)	$8,4 \leq P < 18,6$
Chuva Forte (CF)	$18,6 \leq P < 55,3$
Chuva Muito Forte (CMF)	$P \geq 55,3$

Fonte: Souza, Azevedo e Araújo (2012)

A avaliação do crescimento radicular da aveia, ao final do seu ciclo vegetativo, é fundamental para o diagnóstico de sistemas de manejo que visam a otimização da produtividade agrícola. Em testes realizados em latossolo vermelho-escuro, Fante Júnior *et al.* (1999) verificaram que as raízes da aveia forrageira se concentraram nas camadas iniciais do solo, cerca de 90%, entre 0 e 20cm. Souto *et al.* (1992), também realizaram testes em latossolo vermelho-escuro e verificaram que a maior concentração de raízes da aveia preta, se concentraram entre 0 e 10 cm do solo.

Em relação ao solo onde a aveia preta é cultivada os parâmetros mais avaliados, para condições otimizadas, são umidade, pH e MO, cujos valores são respectivamente: 60-70% (m/m) para solos argilosos, 60-80% (m/m) para solos arenosos de acordo com Cruz *et al.* (2013), pH igual a 6,0 e MO superior a 5% (m/m) de acordo com a SBCS (2016).

Verzutti (2022) utilizou a matéria seca (MS) na caracterização da biomassa de plantas considerando-a como uma medida dos sólidos contidos no material em análise, ou seja, todos os seus constituintes com exceção da água livre nele contido. Este mesmo autor chegou à conclusão de que uma planta pode ser composta de 80 a 90% de água, tendo, portanto, um teor de MS entre 10 e 20%. Deste total de MS, 45% é composta de carbono, 45% de oxigênio, 6% de hidrogênio e 4% de minerais.

Mazocco (2019) avaliou o teor total de MS, após cortes sucessivos, de nove genótipos de aveia preta cultivada em solo natural na região centro-oeste do bioma cerrado, durante a época seca do ano; foram encontrados percentuais de 17,7 a 20% de MS nos genótipos estudados. O conhecimento deste percentual é interessante quando se deseja realizar um estudo comparativo em termos de produção de MS da aveia preta cultivada com diferentes sementes nos solos naturais em relação a substratos antrópicos. De acordo com Artico (2018) quanto menor a quantidade de MS, menor a disponibilidade de nutrientes e MO para o solo.

A Tabela 16 apresenta os principais parâmetros avaliados, em pesquisas, no plantio e ciclo vegetativo da aveia preta semeada em solos naturais.

Tabela 16 – Parâmetros de cultivo, físico-químicos, dimensões e MS, da aveia preta semeada em solos naturais

Parâmetros	Unidade	Padrão	
pH do solo	-	6,0 <sup>a</sup>	
MO do solo	% (m/m)	>5,0 (alta) <sup>a</sup>	
Umidade adequada do solo	% (m/m)	Solos argilosos (60 -70) <sup>b</sup>	
		Solos arenosos (60 – 80) <sup>b</sup>	
Largura foliar	mm	5,5 a 22 <sup>c</sup>	
Comprimento foliar	cm	14 a 40 <sup>c</sup>	
Ciclo de cultura	dias	120 a 200 <sup>c</sup>	
Comprimento radicular	cm	0 a 10 <sup>d</sup>	
	cm	0 a 20 <sup>e</sup>	
Comprimento da parte aérea	cm	> 60 <sup>f</sup>	
Temperatura	°C	< 32 <sup>f</sup>	
Profundidade de semeadura	cm	2 a 4 <sup>f</sup>	
Temperatura ótima para fotossíntese	°C	15 a 25 <sup>g</sup>	
MS*	% (m/m)	18,6 <sup>h</sup>	
Germinação das sementes	% (m/m)	Básica	70 <sup>i</sup>
		C1 <sup>1</sup>	80 <sup>i</sup>
		C2 <sup>2</sup>	
		S1 <sup>3</sup>	
		S2 <sup>4</sup>	
Pureza das sementes	% (m/m)	Básica	98 <sup>i</sup>
		C1 <sup>1</sup>	97 <sup>i</sup>
		C2 <sup>2</sup>	
		S1 <sup>3</sup>	
		S2 <sup>4</sup>	

\* genótipo EMBRAPA 139.

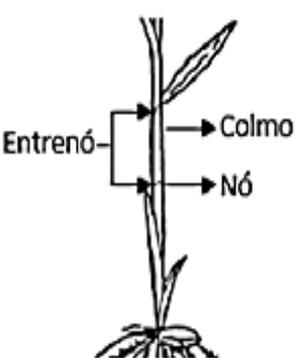
1. semente certificada de 1<sup>o</sup> geração. 2. semente certificada de 2<sup>a</sup> geração. 3. semente de 1<sup>a</sup> geração. 4. semente de 2<sup>a</sup> geração. a- SBCS (2016); b- Cruz *et al.* (2013); c- Floss (1998); d- Souto *et al.* (1992); e- Junior *et al.* (1999); f- EMBRAPA (2000); g- Amorim (2020), h- Mazocco (2019); i - IN SDA 44 (2016b).

Fonte: O Autor (2021)

### 2.5.1.1 Morfologia externa da aveia preta

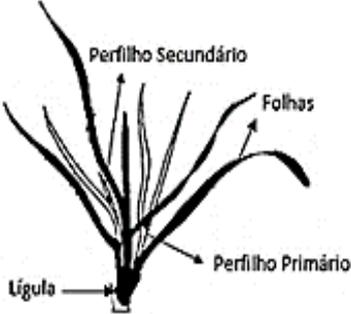
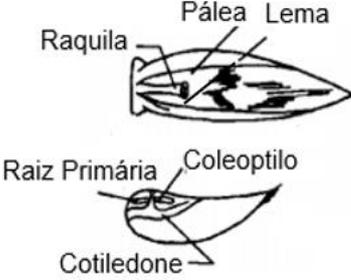
O Quadro 3 apresenta uma descrição sucinta e as imagens da morfologia externa da aveia preta nas diferentes fases do seu ciclo vegetativo e também apresenta uma descrição das funções dos seus órgãos reprodutivos (panícula, grãos e sementes) e de seus órgãos vegetativos (raiz, caule e folhas).

Quadro 3 – Morfologia externa, descrição e função dos órgãos da aveia preta  
(continua)

Órgãos	Imagem	Descrição	Função	Referência (ano)
Raiz		Raiz com sistema radicular e fasciculado.	Fixação da planta e absorção de água e minerais do solo.	Amorim (2020)
Caule (colmos)		Colmos finos, cilíndricos e eretos com nós e entrenós.	Estabelece a comunicação entre a raiz e as folhas, acumula reservas nutricionais e assimila a clorofila.	Floss (1998), Fontaneli <i>et al.</i> (2012)

Quadro 3 – Morfologia externa, descrição e função dos órgãos da aveia preta

(conclusão)

Órgãos	Imagem	Descrição	Função	Referência (ano)
Folhas		Folhas estreitas com lígula bem desenvolvida, apresentando perflhos.	Principal local da fotossíntese e das trocas gasosas com o ambiente externo.	Amorim (2020), EMBRAPA (2000)
Panículas e espiguetas (inflorescência)  Flor em maturação (florescência)		Formação de panículas com glumas aristadas (cachos de flores) formando as espiguetas que contém os grãos.	As flores são responsáveis pela formação das sementes.	EMBRAPA (2000)
Grãos e Sementes		Os grãos são escuros e de pequeno tamanho. São cariópses indeiscentes encoberta pelo lema e pálea. Existe apenas uma semente por grão.	Dão origem ao sistema de germinação através da absorção de água.	EMBRAPA (2000) Fontaneli <i>et al.</i> (2012), Pereira, Herling e Almeida, (2016b)

Fonte: O Autor (2020)

### 2.5.1.2 Estágios de crescimento da aveia preta

Blaser e Novaes (1990) identificam os seguintes estágios de crescimento para plantas forrageiras: germinação, crescimento vegetativo, emborrachamento ou fase de transição e fase reprodutiva: inflorescência, floração e formação de grãos.

A germinação é o início da fase vegetativa da aveia preta, ocorre a partir da transformação da semente em uma nova planta, ocorre o crescimento do embrião, particularmente do eixo radicular (BLASSER e NOVAES, 1990; KERBAUY, 2008).

Schuch *et al.* (2000) classificam as sementes da aveia preta em alto, médio e baixo vigor de germinação, com percentagens respectivamente de 100%, 85% e 75%. Estes mesmos autores afirmam que o poder germinativo da maioria das sementes de aveia preta utilizadas para semeadura no Rio Grande do Sul, encontram-se em níveis baixos, na faixa entre 60 e 70% para a maioria dos lotes.

O crescimento vegetativo ocorre após a germinação e antes do emborrachamento da forrageira. Nesta fase de crescimento a planta se desenvolve e cria a estrutura necessária para produzir energia e suportar o peso da sua produção. Na fase juvenil da aveia preta ocorre o desenvolvimento da área foliar e perfilhamento (BLASER e NOVAES, 1990; PEREIRA *et al.*, 2016a).

Na fase de emborrachamento, também chamada de fase de transição do período vegetativo ou de alongamento de colmos, a forrageira está bastante vulnerável a estresses hídricos ou térmicos que possam ocorrer no ambiente. É a fase de maior produção de folhas e perfilhos para a fase reprodutiva. Nesta fase a aveia preta já pode ser incorporada ao solo (BLASER e NOVAES, 1990; PEREIRA *et al.*, 2016a).

A fase de inflorescência da aveia preta é a fase reprodutiva da gramínea, onde ocorre a formação de panículas e espiguetas, nesta fase começa a diminuir a quantidade de carboidratos não estruturais (amido, pectina e açúcares) (BLASER e NOVAES, 1990)

A fase de floração ou fase reprodutiva adulta da forrageira é a fase em que a aveia preta apresenta raízes sólidas e fortes para absorção de nutrientes, nesta fase ocorre maior produção de MS para a pastagem animal e maior porcentagem de lignina e fibras, no entanto ocorre um decréscimo nos carboidratos estruturais da forrageira. Esta fase é ideal para a silagem (BLASER e NOVAES, 1990).

A fase de formação de grãos ocorre ao final da fase reprodutiva da aveia preta, nesta fase ocorre a formação das sementes, uma por grão e também ocorre a maturação das panículas e espiguetas (FONTANELI *et al.*, 2012; EMBRAPA, 2000). A aveia preta não é utilizada na

produção de grãos, pois eles não apresentam qualidade industrial devido à coloração escura, pequeno tamanho e baixo rendimento de grãos descascados em relação ao grão inteiro (PEREIRA, HERLING e ALMEIDA, 2016b).

Nakagawa, Cavariani e Machado (1994), estudando a maturação da aveia preta por três anos, concluíram que a maturidade fisiológica das sementes no campo, foi atingida entre 28 e 35 dias após 100% da emergência das panículas. Neste estágio, o campo apresentava um pequeno percentual de panículas e predominância de espiguetas com grãos em estágio semiduro e sementes com 20 a 30% de teor de água.

### 2.5.2 Análise de tecido vegetal

Os nutrientes minerais são elementos absorvidos pelas raízes da solução do solo por organismos, como: fungos micorrízicos, bactérias fixadoras de nitrogênio, desta forma, as raízes das plantas, funcionam como “mineradores” da crosta terrestre (MATOS, GAMA e NETO, 2020).

Verzutti (2022) define os nutrientes de uma planta como elementos minerais classificados como essenciais, que sem esses a planta será incapaz de completar seu ciclo de vida. Os nutrientes de uma planta são comumente divididos em dois grupos: os macronutrientes e os micronutrientes. São tidos como macronutrientes os elementos requeridos pela planta em maiores quantidades (%m/m) enquanto os micronutrientes, em menores quantidades (mg/kg).

A determinação do teor de nutrientes totais em tecido vegetal é feita em MS, após moagem (CARMO *et al.*, 2000). O tecido vegetal é posto primeiramente para secar ao ar, sendo posteriormente embalados em sacos de papel etiquetados e colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar em temperaturas variando de 65° C a 70°C até peso constante. São avaliados macronutrientes primários: N, P, K; macronutrientes secundários: Ca, Mg e S e micronutrientes B, Zn, Cu, Fe e Mn (também chamados de elementos traços). De maneira geral, micronutrientes apresentam maior concentrações nas raízes do que nas folhas (MARSCHNER, 1995).

A avaliação do estado nutricional nos tecidos vegetais geralmente se apoia em valores críticos e intervalos de suficiência de nutrientes nas folhas, os quais são fundamentais para o crescimento saudável das plantas. Essa análise pode ser feita a partir de resultados de experimentos de calibração, onde o nutriente em foco é aplicado em diferentes doses crescentes, mantendo-se constantes as quantidades dos outros fatores de produção em níveis adequados (KURIHARA *et al.*, 2013). Outra abordagem para diagnosticar o estado nutricional do tecido

foliar de uma planta envolve a coleta de amostras de folhas que indiquem os níveis adequados dos principais nutrientes. Para uma amostragem eficaz, é importante considerar três critérios principais: o tipo de folha a ser coletada, o momento do ciclo da planta e a quantidade de folhas necessárias para representar adequadamente a gleba a ser analisada (EMBRAPA, 2012).

A Tabela 17 apresenta os níveis críticos de concentração de nutrientes em plantas e as faixas de suficiência de micronutrientes e macronutrientes no tecido foliar para a aveia preta.

Tabela 17 – Faixa de suficiência de nutrientes para o tecido foliar da aveia preta e níveis críticos de concentração em plantas

<b>Elemento</b>	<b>Unidade</b>	<b>Níveis críticos de concentração em plantas*</b>	<b>Faixa de suficiência de nutrientes no tecido foliar para a aveia**</b>
N	% (m/m)	1,20 – 7,50	2,00 – 3,00
P	% (m/m)	0,01 -10,00	0,20 – 0,50
K	% (m/m)	0,10 -7,00	1,50 – 3,00
Ca	% (m/m)	0,04 – 1,50	0,25 – 0,50
Mg	% (m/m)	0,07 – 0,90	0,15 – 0,50
S	% (m/m)	0,06 – 0,90	0,15 – 0,40
Cu	mg/kg	4,00 -20,00	5,00 – 25,00
Zn	mg/kg	1,00- 400,00	15,00 -70,00
Fe	mg/kg	2,00 – 700,00	40,00 – 150,00
Mn	mg/kg	3,00 -1000,00	25,00 -100,00
B	mg/kg	8,00 – 200,00	5,00 – 20,00

Fonte: Adaptado de Larcher\* (2004) e SBCS\*\* (2016)

Observando-se a tabela 17, verifica-se que o tecido foliar da aveia preta necessita menores concentrações de nutrientes que os níveis críticos superiores encontrados em plantas, com exceção do Cu, cujo o limite superior de suficiência nutricional no tecido foliar é maior. Apenas o B, apresenta exigência nutricional no tecido foliar da aveia preta, menor que o nível crítico inferior de concentração para plantas.

A Tabela 18 apresenta as funções dos macronutrientes primários, secundários e micronutrientes presentes no tecido vegetal das plantas, entre parênteses estão colocadas as formas de absorção destes nutrientes pelas plantas (SQM VITAS, 2022). Estudar estas funções auxiliam na interpretação do estudo do tecido foliar e radicular de plantas.

Tabela 18 - Função dos nutrientes do tecido vegetal das plantas

(continua)

Nutriente	Função dos Nutriente	Referência (ano)
Macronutriente Primário (forma absorvida)	Tem maior efeito no crescimento da aveia, atividade radicular e absorção de outros nutrientes.	Santi (2001)
	Deficiência de N, folhas amareladas, menor tamanho, estreitas e com menor perfilhamento, raízes mais alongadas devido a presença de auxina nas suas pontas. O nível adequado produz folhas com coloração verde-escuro, devido a grande quantidade de clorofilas.	Matos, Gama e Neto (2020), Verzutti (2022)
	Necessário para a síntese de clorofila e, por consequência, está envolvido no processo da fotossíntese; componente das vitaminas e dos sistemas energéticos na planta; componente dos aminoácidos, os quais formam proteínas.	Matos, Gama e Neto (2020)
	Gramíneas com baixos teores de fósforo apresentam redução no seu perfilhamento, atraso no seu florescimento e folhas verdes escuras.	Verzutti (2022)
	Apresenta baixa mobilidade no solo, sua absorção está diretamente relacionada ao maior comprimento radicular.	Matos, Gama e Neto (2020)
	Apresenta uma grande mobilidade do solo para o tecido vegetal. Regula o potencial osmótico da célula, sua deficiência causa redução no tamanho da planta, murchamento e clorose, menor crescimento radicular e colmos frágeis.	Matos, Gama e Neto (2020)
Macronutriente Secundário (forma absorvida)	Função estrutural, responsável pela rigidez da parede celular das plantas apresentando maior concentração em solos alcalinos.	Matos, Gama e Neto (2020), Verzutti (2022)
	Não existem relatos de toxidez de Ca em excesso. Este metal apresenta baixa mobilidade na planta, sua deficiência causa crescimento desuniforme de folhas.	Matos, Gama e Neto (2020) Verzutti (2022)
	Importante na absorção de P, sua deficiência deixa as folhas mais finas; o excesso causa desequilíbrio nutricional nas plantas. Apresenta mobilidade intermediária em plantas.	Matos, Gama e Neto (2020)

Tabela 18 – Função dos nutrientes do tecido vegetal das plantas

(conclusão)

Nutriente	Função do Nutriente	Referência (ano)
Macronutriente Secundário (forma absorvida)	S (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	A deficiência diminui o crescimento das folhas causando clorose nas folhas, está ligado formação de proteínas e clorofila nas plantas. Matos, Gama e Neto (2020), Verzutti (2022)
Micronutriente (forma absorvida)	Cu (Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>+2</sup> )	Causam fitotoxicidade quando os limites como nutrientes são ultrapassados, tornando-se metal tóxico. As plantas requerem níveis baixos deste nutriente. Mais disponível em solos ácidos. Chaves <i>et al.</i> (2010) Malavolta (1979)
		Cumprir a sua função principal na fotossíntese. O excesso de Cu resulta na deficiência de Fe e na redução da absorção de P. Matos, Gama e Neto (2020)
	Zn (Zn <sup>+2</sup> )	Causam fitotoxicidade quando os limites como nutrientes são ultrapassados, tornando-se metal tóxico. Mais disponível em solos ácidos. Chaves <i>et al.</i> (2010) Malavolta (1979)
		Sua mobilidade na planta é pequena. O P insolubiliza o Zn nas raízes reduzindo sua absorção. Em menores concentrações as folhas apresentam comprimentos menores. A deficiência de Zn causa coloração esbranquiçada nas folhas. Matos, Gama e Neto (2020)
	Fe (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> )	Importante para a fotossíntese e respiração da planta. Apresenta baixa mobilidade. Excesso causa diminuição da extração de P e N do solo. Raramente causa fitotoxicidade quando estiver em excesso nas plantas devido a rápida conversão da sua forma solúvel (Fe <sup>+2</sup> ) em insolúvel (Fe <sup>+3</sup> ). Matos, Gama e Neto (2020). Laborsolo (2013).
	Mn (Mn <sup>2+</sup> , Mn <sup>4+</sup> )	O Mn apresenta baixa mobilidade e auxilia na síntese da clorofila, maiores teores proporcionam maior crescimento aéreo, alongamento radicular e produção de MS. Causam fitotoxicidade quando os limites como nutrientes são ultrapassados, tornando-se metal tóxico. Sintomas de excesso, observado através de manchas amareladas nas folhas. Matos, Gama e Neto (2020)
B (HBO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> , BO <sub>3</sub> <sup>-3</sup> )	Atua facilitando o transporte de açúcares na planta, facilitando o florescimento nas gramíneas. Excesso ou falta causa necrose na planta. Matos, Gama e Neto (2020)	

Fonte: O Autor (2021)

## 2.6 SUBSTRATOS

Conforme Zorzeto (2011), substratos correspondem à matéria-prima ou mesmo mistura de matérias-primas, capazes de substituir o solo no cultivo, servindo de suporte para plantas, ancoragem para as raízes e possibilitando o fornecimento de quantidades equilibradas de ar, água e minerais.

De acordo com Guerrero e Polo (1989) os sistemas de cultivo de mudas em recipientes, podem utilizar substratos de origem: mineral ou inorgânica, não biodegradáveis (argila expandida, perlita, vermiculita, areia, brita, lã de rocha, escória de forno, carvão, etc.), orgânica ou biodegradáveis (terra vegetal, casca de pinus, turfas, fibra de coco, casca de arroz, palha de cereais, casca de árvores, serragem ou aparas de madeiras, etc.) ou sintéticos (bucha de cozinha, pano estopa, fibras de polipropileno de tecido não tecido (TNT), etc.).

A escolha do substrato a ser utilizado no cultivo em vasos, é uma importante decisão a ser tomada, por estar diretamente relacionado às necessidades que a espécie vegetal a ser cultivada apresenta. De acordo com Schimitz *et al.* (2002) não existe um material ou uma mistura de materiais considerada universalmente válida como substrato para todas espécies, o seu cultivo em recipientes requer irrigações e fertilizações frequentes e, para tanto, faz-se necessário, o conhecimento das propriedades químicas e físicas dos substratos. O substrato deve garantir além do fornecimento de oxigênio para a planta, uma adequada concentração de nutrientes, drenagem e absorção de água pelo sistema radicular (SILVEIRA *et al.*, 2002).

## 2.7 RESÍDUO DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO (RAVF)

A moldagem por AVF é o processo de moldagem mais comumente utilizado nas fundições para a fabricação de moldes e machos na produção de peças fundidas. De acordo Siddique e Noumowe (2008) a AVF é utilizada em mais de 90% da produção de peças fundidas, sendo composta essencialmente por areia de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) de alta qualidade (85-95%), aglomerante argila de bentonita (4-10%), aditivos carbonáceos (2-10%) e água (2-5%). O termo “verde” recebido na nomenclatura da AVF é devido ao molde deste tipo de areia não sofrer secagem antes do vazamento do metal líquido (Carnin, 2008).

O processo que utiliza molde em areia verde é largamente empregado na indústria brasileira, dada a sua simplicidade tecnológica, baixo custo e a facilidade de recuperação da areia após a etapa de desmoldagem. De acordo com Carnin *et al.* (2010), o resíduo resultante do seu descarte da AVF, no processo de desmoldagem de peças fundidas, é denominado resíduo

de areia verde de fundição (RAVF). Este resíduo, por apresentar em sua constituição Al, Fe e Mn acima do valor máximo permitido pelos padrões para o ensaio de solubilização segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a) é classificado como Classe II-A, não perigoso e não inerte (Carnin, 2008).

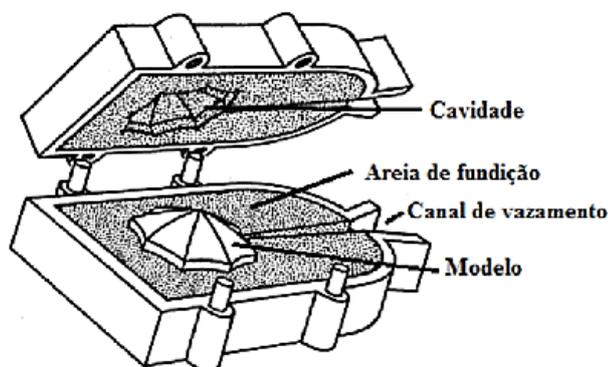
### 2.7.1 Processo de fundição com areia verde de fundição (AVF) e geração de resíduos

De acordo com RAO (2006) o processo de fundição de uma peça com areia verde pode ser resumido nas seguintes operações:

- confecção do modelo com a forma da peça – positivo da peça
- confecção do molde – negativo da peça - moldagem com moldes
- confecção dos machos<sup>7</sup> – macharia
- obtenção do metal líquido – fusão
- enchimento do molde com metal líquido – vazamento
- retirada da peça solidificada do molde – desmoldagem
- corte de canais e rebarbas, limpeza – rebarbação e limpeza.

A Figura 12 ilustra uma caixa de moldar para a areia verde de fundição, dividida em duas partes (superior e inferior) onde o molde é formado pela compactação da areia sobre o modelo. Observa-se na figura a formação da cavidade que, acrescida do sistema de alimentação e colocação de machos, quando necessário, dá origem à peça após o vazamento do metal líquido (BOMBONA, ASSAD FILHO e COELHO, 2018).

Figura 12 - Caixa de moldar para a areia verde de fundição

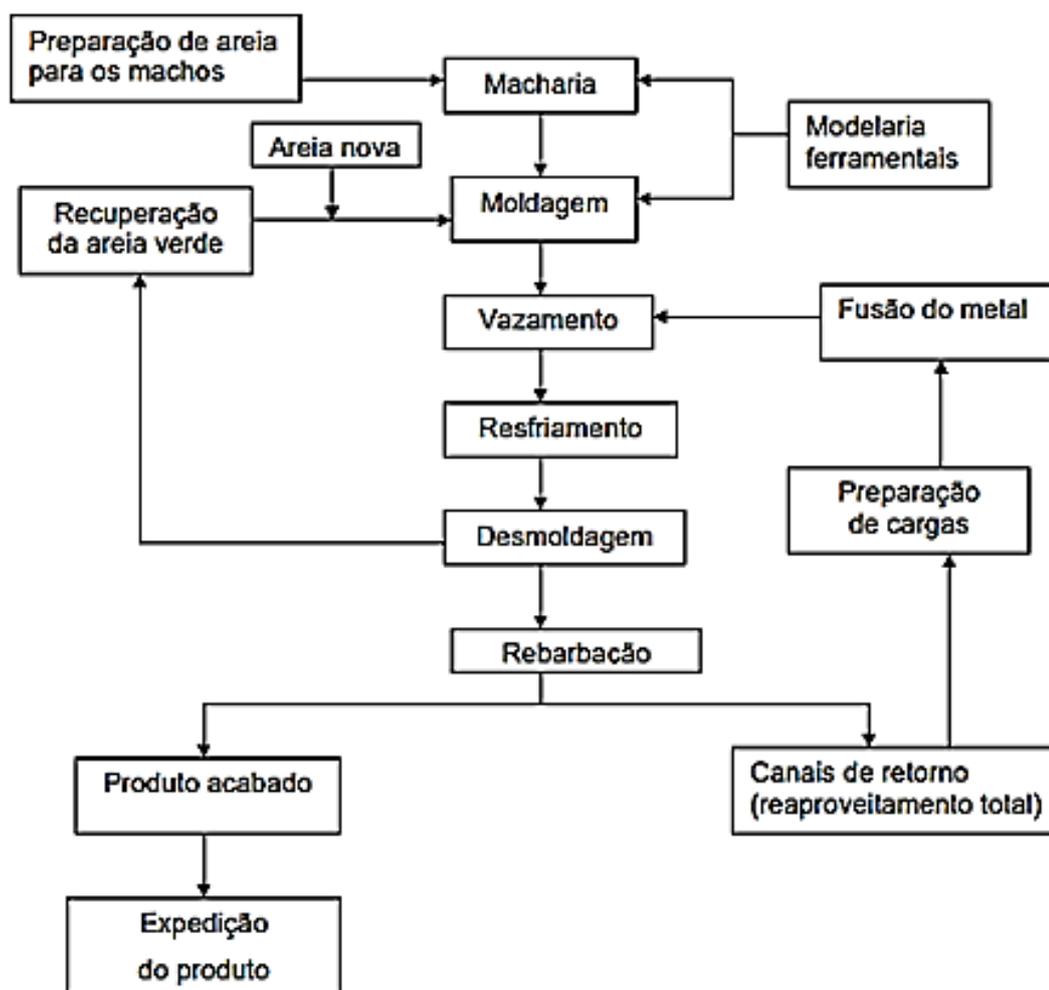


Fonte: Bombona, Assad Filho e Coelho (2018)

<sup>7</sup> Os machos são dispositivos geralmente fabricados em areia, com a finalidade de formar os vazios e furos da peça e precisam ser colocados no molde antes do metal líquido.

A Figura 13, apresentada por Adegas (2007), mostra o processo de fundição ferrosa, com recuperação do RAVF.

Figura 13 – Processo de fundição ferrosa com recuperação de RAVF



Fonte: Adegas (2007)

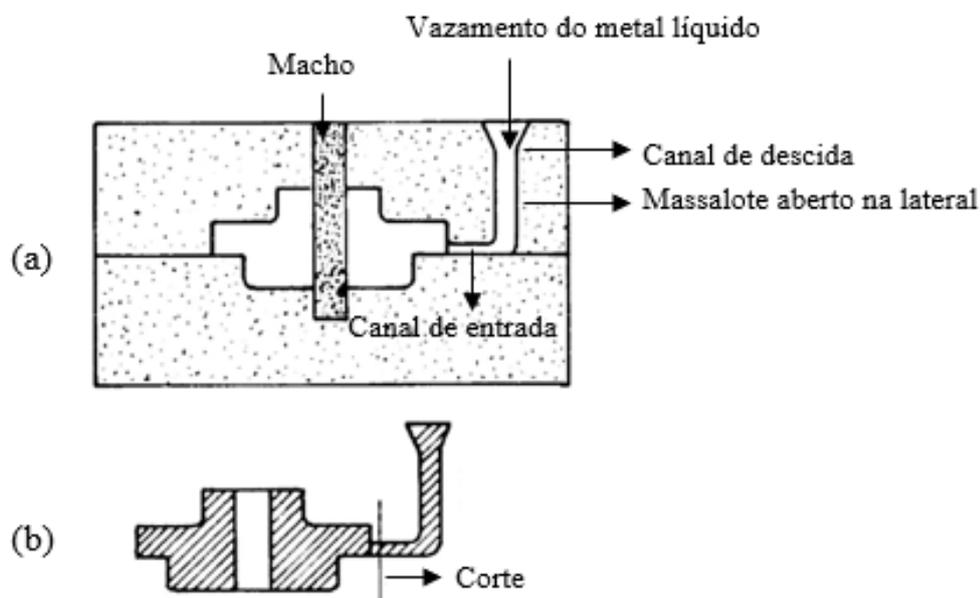
A expansão térmica da  $\text{SiO}_2$  provoca, de um modo geral, uma expansão dos moldes durante o vazamento e o resfriamento. A bentonita ( $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) é o principal aglomerante ou ligante da areia verde de fundição, na mistura de areia de moldagem, constituída essencialmente por silicato de alumínio hidratado, denominado argilomineral, sendo responsável pela coesão da areia quando em contato com a água. Os moldes fabricados com areia verde, normalmente utilizam este aglomerante, já os machos são formados por um sistema de ligantes químicos. Eles devem ser fortes o suficiente para suportar o metal fundido e ter

colapsibilidade suficiente para permitir a sua remoção da peça fundida após o resfriamento (ADEGAS 2007; RAO, 2006; SIDDIQUE e NOUMOWE, 2008).

O pó de carvão mineral (pó cardiff) é um material carbonáceo, aplicado à areia verde de fundição, sendo queimado quando o metal líquido é vazado no molde, evitando a oxidação do metal quando este for solidificando. Durante o vazamento, sua aplicação é justificada por três motivos: criação de uma atmosfera inerte na cavidade do molde durante o vazamento, através da combustão dos compostos orgânicos, os quais, por sua vez, reduzem a oxidação do metal, diminuindo a formação de escória, reduz a penetração do metal nos grãos de quartzo, através da deposição de um filme de grafite, que também cria uma superfície plana no fundido e reduz a quantidade de areia remanescente na superfície do fundido na desmoldagem (ADEGAS, 2007; RAO, 2006; SIDDIQUE, 2008).

A Figura 14a apresenta de modelagem e a Figura 14b, uma peça fundida com canais e massalote, que devem ser cortados na etapa de rebarbação, para posteriormente serem fundidos novamente, como mostra o fluxograma da Figura 13. Observa-se nesta figura também, que o macho apresenta formato cilíndrico e forma a parte interna (vazio) da peça fundida.

Figura 14 - Caixa de modelagem, macho, canais, massalote e peça fundida



(a) caixa de moldagem pronta para receber o metal líquido com o macho colocado no lugar

(b) peça fundida, canais e massalote

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010)

De acordo Winlker e Bol'Shakov (2000), tipicamente há a geração de uma tonelada de resíduo para cada tonelada de ferro fundido produzido. Segundo Chegatti (2004), os resíduos gerados nas diferentes etapas do processo de fundição, são:

- Moldagem – areias do sistema de mistura e preparo – areia verde de fundição - pó de exaustão
- Macharia - areia de macharia – areia com resinas – ligantes químicos
- Fusão do metal – refratários e escórias – pó de exaustão
- Desmoldagem – areia de desmoldagem - areias de quebra de canais – pó de exaustão
- Acabamento – pós das atividades de acabamento

Dentre os resíduos gerados na indústria de fundição, os resíduos provenientes da atividade de moldagem, areias e pó, tem especial interesse, pois contribuem com a maior parcela de geração de resíduos dentro de uma fundição, para dispor estes resíduos em um aterro, os custos são praticamente inviáveis (BONET, 2002). Segundo Chegatti (2004), os resíduos das etapas de quebra de canais, de exaustão e de preparo da mistura da areia de moldagem, com percentuais próximos a 79% do total de geração de resíduos, enquadram-se como o problema principal a ser resolvido pelas indústrias de fundições.

### **2.7.2 Reciclagem e disposição da areia descartada de fundição (ADF)**

No contexto da ADF, segundo Silva (2010), os processos de reciclagem dividem-se em: recuperação, regeneração e reutilização. A recuperação e regeneração são processos de reciclagem interna da ADF, enquanto que a reutilização corresponde a reciclagem externa (MARTINI, 2017).

Nos processos de recuperação os materiais aderentes aos grãos de areia são retirados através de impactos, pela fragmentação mecânica entre os grãos e o equipamento ou através da agitação de uma suspensão da areia em água (MARIOTTO, 2000). A recuperação do RAVF inicia-se com a remoção da areia da peça fundida na área de desmoldagem, como pode ser observado na Figura 13, após seguem-se as etapas de: retirada de partículas metálicas, quebra ou retirada dos torrões e peneiramento, resfriamento, retirada dos finos inertes, correção do teor de aglomerante, adição de umidade, homogeneização e arejamento.

No processo de regeneração, o RAVF é calcinado em fornos rotativos ou em câmaras de leito fluidizado para a remoção de compostos orgânicos (MARIOTTO, 2000). O processo de regeneração permite novamente o uso da areia diretamente no processo de fundição, reduzindo consideravelmente a compra de nova areia e sua disposição. Mariotto (1984) afirma que é extremamente reduzido o número de empresas que adotam os processos de regeneração,

isto se deve, principalmente, ao elevado investimento em equipamentos e ao fato de a regeneração ser tecnologicamente difícil. A areia regenerada pode substituir total ou parcialmente a areia nova, apresentando uma qualidade técnica melhor, em muitos casos, do que areia nova (ADEGAS, 2007; RAO, 2006).

Para corrigir devidamente as propriedades requeridas a essa areia regenerada, em cada mistura é acrescida uma quantidade de areia base nova, ligante (bentonita), pó de carvão, aditivos e água, como mostra a Figura 13. Para manter constante a quantidade total de areia em processamento na fundição é preciso descartar regularmente, na forma de RAVF, uma quantidade de areia usada equivalente à quantidade de areia nova acrescida. A areia a ser descartada é colhida em um ponto conveniente do sistema de transporte interno (ADEGAS, 2007; BASTIAN e ALLEMAN, 1998).

Existem várias pesquisas sobre a reutilização do RAVF, como por exemplo incorporação em: materiais cerâmicos, vidros, assentamento de tubos da rede de esgoto, agregado para asfaltos, produção de tijolos, telhas, substituto de agregados finos, concreto expandido, cimento, meios filtrantes e estabilização granulométrica de solos (ADEGAS, 2007). Estudos realizados por Cardoso *et al.* (2017), demonstraram que a incorporação de até 40% de ADF é indicada para compor as camadas de base e sub-base de pavimentações.

Os avanços no reuso do RAVF na correção de solos deve ser cautelosa devido à necessidade de demonstrar um baixo risco de exposição na cadeia alimentar ou na formação de macroporos no solo devido a  $\text{SiO}_2$ , o que causa lixiviação dos seus nutrientes. O pH da areia, especialmente quando alcalina pode ser usado para ajustes do pH de solos ácidos (OWENS, 2008). Dungan e Dees, (2008) elaboraram um estudo de caracterização de metais totais e lixiviáveis em 43 amostras areias de moldagem de 37 fundições dos Estados Unidos (EUA), sendo que 74% das amostras eram RAVF. Os resultados indicaram que, no geral, os metais não eram de qualquer preocupação ambiental e além disso, por serem ricas em minerais, atuam como nutrientes para o solo. A presença de elementos traços nos ensaios de lixiviação se encontrava em níveis abaixo dos limites regulamentados, e a concentração total de metais teve resultados iguais ou comparáveis ao nível de metais em solos agrícolas nos EUA. Os metais estudados por Dungan e Dees, (2008) foram Ag, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb e Zn.

De acordo com Carnin (2008), a disposição do RAVF em solos agrícolas ou na compostagem é mais restrita. Pesquisas foram realizadas em Espanha e na Finlândia envolvendo a compostagem de resíduos de ALQ (fenólicas, furânicas e de silicato) e de RAVF (UE, 2018). Nesta pesquisa foram construídas pilhas de compostagem, adicionando-se

diferentes taxas de ADF ao RSO. Os resultados encontrados mostraram potencial aplicação das ADF em geoengenharia e na agricultura.

Carnin (2020) conduziu experimentos, na empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina – EPAGRI, para reutilização da ADF na agricultura. Experimentos foram realizados com alfaces em hidroponia (solução nutritiva com e sem ADF) e com o cultivo de cenouras em canteiros com substratos preparados com 0-100% de ADF misturados ao solo. Os experimentos comprovaram que essas areias não contaminam as plantas e nem o solo. As conclusões foram, entre outras, que solos agrícolas podem apresentar mais Al e Fe do que as areias descartadas de fundição e que os insumos agrícolas permitidos podem conter mais minerais que os encontrados nas mesmas areias.

Lindsay e Logan (2005) investigaram a reutilização da ADF na agricultura e examinaram os riscos para a cadeia alimentar humana de elementos traços da areia de fundição. De acordo com os resultados obtidos neste estudo há pouco risco de exposição humana tanto a partir da alimentação quanto da ingestão direta do solo.

Orkas (2001), realizou um estudo de reutilização do RAVF, através da compostagem de 20% destes resíduos em conjunto com 50% de resíduo biológico ou orgânico e 30% de resíduo da indústria de papel. Os resultados desta pesquisa concluíram que o resíduo de areia de fundição pode ser usado no preenchimento das leiras de compostagem.

Matos, Game e Neto (2020) investigaram os efeitos do RAVF, no solo e no crescimento de plantas e constatou que o silício presente na forma de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) neste resíduo pode se acumular nos tecidos das plantas, contribuindo para melhorar o seu crescimento e produtividade, além de promover a resistência mecânica aos danos causada por insetos, estes autores afirmam também que no solo o  $\text{SiO}_2$ , em quantidades controladas, ameniza estresses causados por metais tóxicos.

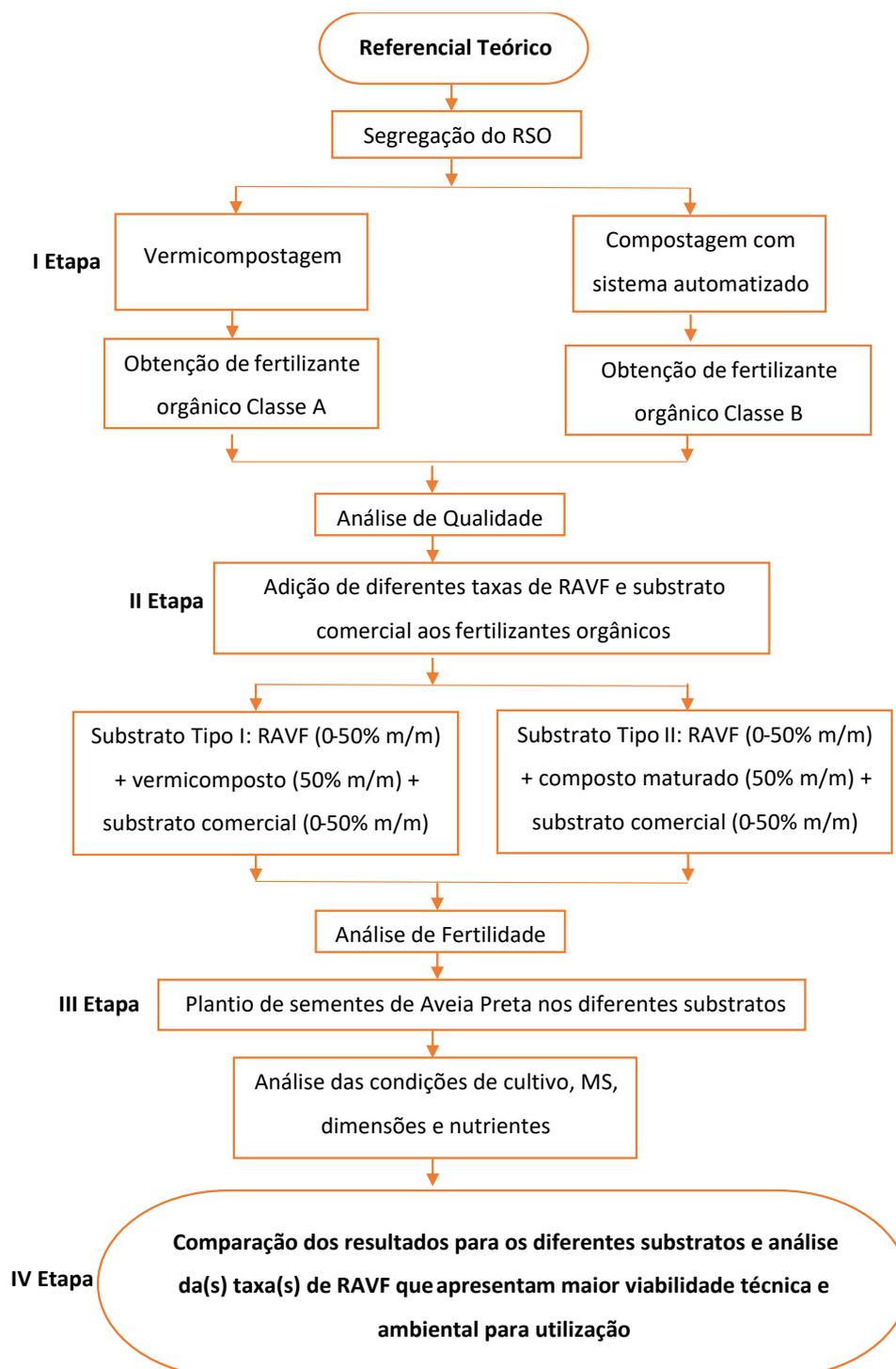
A chave para a aceitação deste resíduo nestas aplicações mais limitadas é a realização de um maior número de pesquisas para aprovação dos órgãos ambientais, de modo que possam ser desenvolvidas legislações específicas para esta finalidade a nível global.

As formas mais comuns de disposição dos RAVF, no solo, são para aplicações geotécnicas tais como: camadas artificiais de topo de solos, estrada de aterros, cobertura final de aterros e valas, cobertura diária de aterros, cobertura de fossas, preenchimento de cavidade de minas (DOMINGUES et al., 2016; RAO, 2006).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é fornecido o delineamento da pesquisa, bem como os materiais e a metodologia utilizada. Esta pesquisa foi realizada em quatro etapas, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Delineamento da pesquisa



### 3.1 ETAPA I – VERMICOMPOSTAGEM E COMPOSTAGEM COM SISTEMA AUTOMATIZADO

A primeira etapa deste trabalho iniciou-se com a segregação do RSO domiciliares, segregados na fonte (fertilizante orgânico classe A), pelos moradores de um condomínio residencial vertical formado por 72 unidades habitacionais, localizado no município de Novo Hamburgo/RS - Brasil. Este resíduo foi utilizado para a vermicompostagem. Nesta etapa também ocorreu a segregação manual do RSO do RSU (fertilizante orgânico classe B) da ETLP, pertencente ao DMLU, localizada no município de Porto Alegre/RS - Brasil. Este resíduo foi utilizado para a compostagem com monitoramento automatizado de temperatura, taxa de aeração e umidade. Esta etapa foi finalizada com a análise da qualidade dos fertilizantes orgânicos obtidos.

#### 3.1.1 Vermicompostagem

A vermicompostagem ocorreu em caixas (Figura 16a). O chorume gerado neste processo ficou armazenado na caixa inferior, que possui uma torneira para a sua retirada. As demais caixas foram furadas, o que permitiu que o chorume fosse drenado e que as minhocas da Figura 16b transitassem entre as caixas. As minhocas responsáveis pela decomposição da MO (*Eisenia foetida*), são comumente conhecidas como Vermelhas da Califórnia. Neste processo 150kg de RSO, segregado na fonte, geraram 30kg de vermicomposto e 27,8 L de chorume em um período de 100 dias.

Figura 16 – Vermicompostagem em caixas e minhocas da espécie *Eisenia foetida*



Fonte: O Autor (2020)

### 3.1.2 Compostagem com sistema de automação e aeração forçada

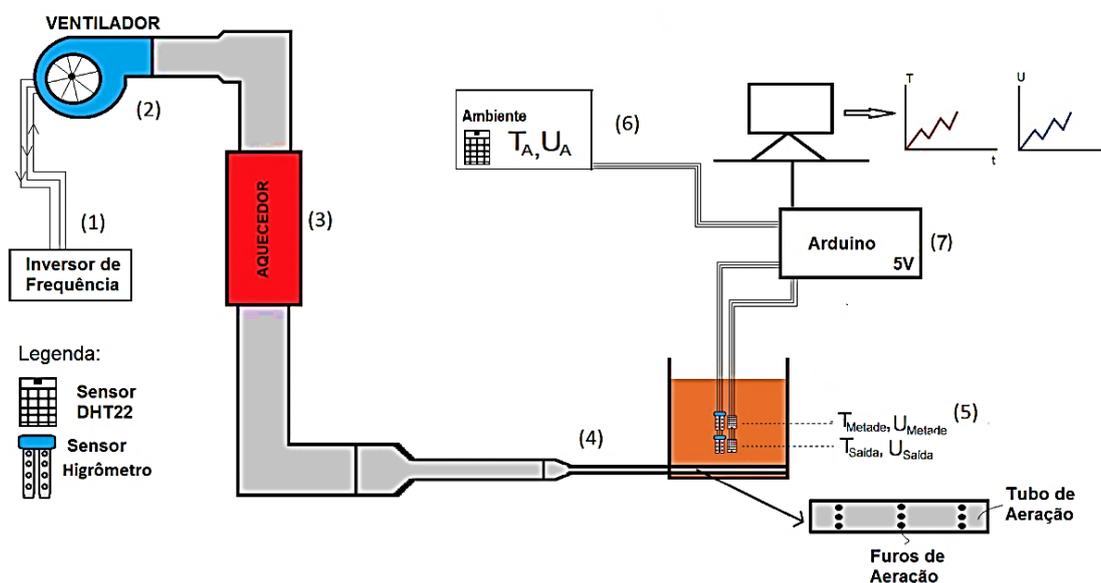
Os estudos para a implementação de um sistema de compostagem com sistema de automação e aeração forçada, em uma bombona de PEAD (planta piloto), iniciaram-se com pesquisas realizadas com arduíno, algoritmos de programação e o estudo dos sinais emitidos por sensores de temperatura e umidade. O sistema automatizado contou com a construção de um dispositivo (protótipo) para a proteção destes sensores, para os mesmos não sofrerem avarias, quando colocados em contato direto com a MO, presente na bombona. O projeto mecânico e manual desta etapa contou também com a construção da própria planta piloto, da ligação dos sensores e de um relé, que controla a taxa de aeração do sistema, à uma placa de arduíno.

Com objetivo de se aumentar a eficiência do sistema de aeração e se estabelecer o equilíbrio na umidade ao longo do processo de decomposição biológica da MO, além de economia energética, foi realizada a alternância entre camadas dos materiais ricos em C e N, e o controle da taxa de injeção de ar no sistema. A análise quantitativa da compostagem contou também com a determinação do recalque, do chorume gerado e da qualidade do composto formado.

#### 3.1.2.1 Pesquisas com arduíno e sensores de umidade e temperatura

Para a verificação dos sinais emitidos pelos sensores de temperatura e umidade, utilizados no processo de compostagem a eficiência dos algoritmos de programação e os gráficos destes parâmetros físicos gerados pelo arduíno, foram realizados testes, insuflando ar quente em um substrato comercial. As pesquisas foram realizadas no Laboratório de Aplicações em Energia e Fenômenos de Transporte (LAEFT) da UFRGS, utilizando-se o arduíno Mega 2560, sensores de temperatura (DHT22), umidade (YL-69) e substrato comercial da marca *Carolina Soil*® para sementes. Não foi utilizada MO neste experimento, para testar os sensores pois pode ocorrer geração de odor, não sendo, portanto, adequada para trabalhos em ambientes fechados como um laboratório. O insuflamento de ar quente no substrato simula o calor liberado pelos microrganismos aeróbios decompositores da MO. A Figura 17 apresenta a montagem do experimento realizado neste estudo.

Figura 17 – Esquema da montagem do experimento realizado com arduino e sensores de umidade e temperatura



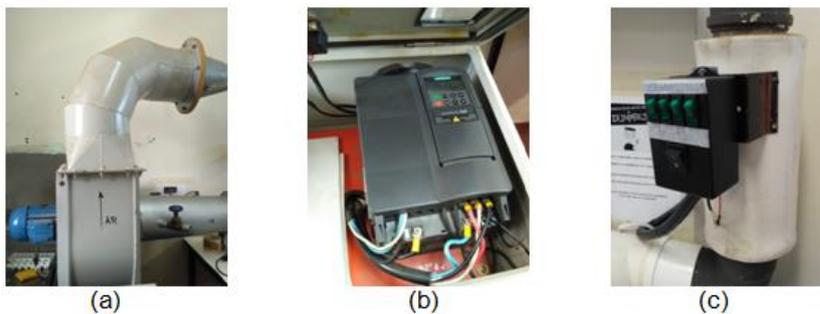
(1) inversor de frequência (2) ventilador (3) aquecedor (4) tubulação de 20mm (5) caixa com sensores de umidade e temperatura e substrato comercial (6) Sensor DHT22 – medição da temperatura ambiente (7) placa de arduino.

Fonte: O Autor (2020)

Em (1) a frequência do motor é escolhida para o controle do insuflamento de ar através de um ventilador (2). Este ar é então aquecido em (3) por um aquecedor a base de resistências capaz de gerar temperaturas de até 50°C. Após, há reduções do diâmetro da tubulação de 50mm para 20mm em (4). Em (5), o ar entra na caixa que contém o substrato onde é medida a temperatura (sensor DHT22), e a umidade (sensor YL-69). O sensor DHT22 também mede a temperatura e umidade ambiente em (6) e todos os dados são coletados pela placa arduino (7). Os materiais utilizados no experimento são mostrados nas Figuras 18 a 20.

Para controlar a velocidade e o acionamento do ventilador foi utilizado um inversor de frequência, mantido em 25 Hz. A Figura 18, apresenta em (a) um ventilador OTAM de modelo FMS 400 AR.\_4CL.\_2 em (b) o inversor de frequência da marca Siemens Micro Master 420, e em (c) um aquecedor resistivo.

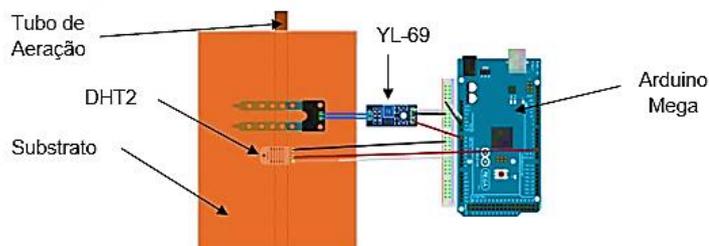
Figura 18 - Equipamentos utilizados no experimento para testar o arduino e os sensores de umidade e temperatura



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 19 mostra um desenho esquemático das ligações dos sensores de temperatura DHT22 e do sensor de umidade de solo YL-69 à placa de arduino. Os sensores são ligados na placa através de uma *protoboard* e inseridos no substrato.

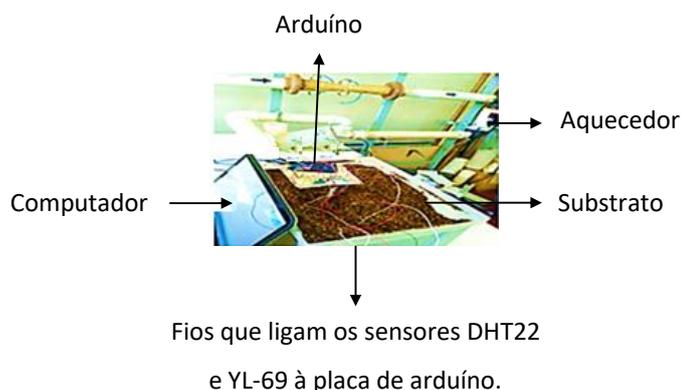
Figura 19 –Ligações dos sensores de umidade e temperatura com o arduino



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 20 mostra a caixa de plástico utilizada neste experimento contendo o substrato comercial, e os sensores de umidade e temperatura.

Figura 20 - Caixa com o substrato comercial e os sensores de umidade e temperatura



Fonte: O Autor (2020)

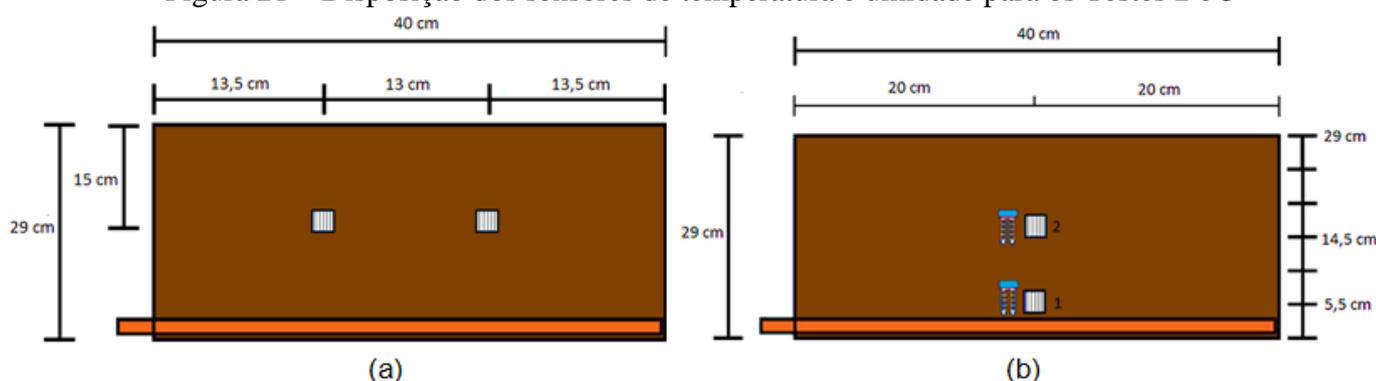
Neste experimento foram realizados três testes: Teste 1, Teste 2 e Teste 3. Os dados dos parâmetros avaliados foram armazenados no computador fazendo o uso do software *CoolTerm*.

No Teste 1 mediu-se a temperatura do ar na saída dos furos de 8mm do tubo de 1m de comprimento e 20 mm de diâmetro, inserido longitudinalmente na metade da largura da caixa (29x29x40cm) e a 2 cm de sua base, quando o substrato não estava presente.

O Teste 2, foi realizado com uma camada de substrato de 4 cm de altura na caixa e com três sensores de temperatura DHT22, estando dois deles colocados dentro da caixa e o outro, fora. O par de sensores foi posto na metade da largura da caixa na profundidade de 15 cm, mas em posições diferentes, como mostra a Figura 21a. O Teste 2 foi iniciado assim que o sensor na direita foi inserido, com o aquecedor e o motor ligados com 15 minutos de antecedência.

Para o Teste 3, as medições de temperatura foram efetuadas com três sensores DHT22, um medindo as condições ambientes e dois sensores DHT22 inseridos em uma camada de 4cm de altura de substrato. As medições de umidade foram realizadas com dois sensores YL-69 colocados dentro do substrato. O esquema da disposição dos sensores no Teste 3 é mostrado na Figura 21b. Como pode ser observado na figura as medições tanto da temperatura quanto da umidade foram realizadas no ponto 1, meio da caixa, e no ponto 2, próximo a base da caixa (saída de ar). Para a compostagem com sistema automatizado, utilizou-se o sensor SEN0193 em detrimento do sensor YL-69 por ser encapsulado e, desta forma, apresentar maior resistência à corrosão quando em contato com a o RSO compostado.

Figura 21 – Disposição dos sensores de temperatura e umidade para os Testes 2 e 3



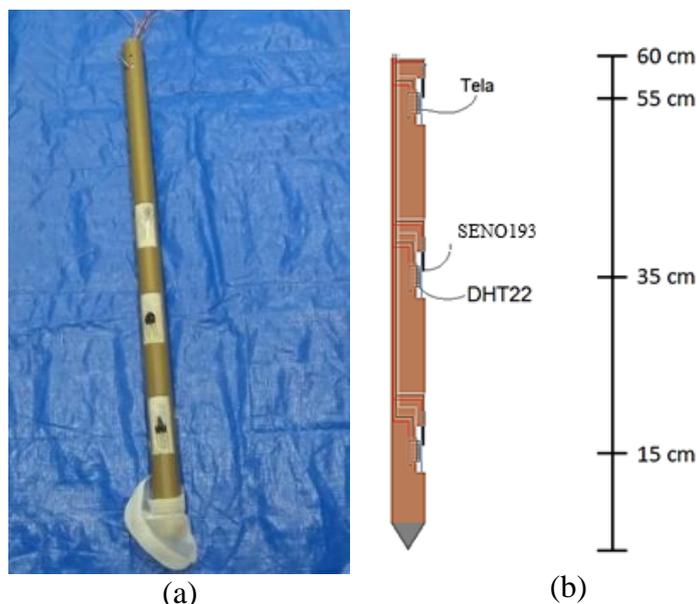
Fonte: O Autor (2020)

### 3.1.2.2 Construção de um protótipo com sensores de temperatura e umidade

O protótipo utilizado na planta piloto foi construído com dois tubos de 60cm de policloreto de vinila (PVC), com diâmetros diferentes, colocados um dentro do outro

(Figura 22a). Os tubos interno e externo, possuem diâmetros externos iguais a 40mm e 50mm respectivamente. Ambos tubos foram cortados em três pontos: à 15cm, 35cm e 55cm a partir de suas pontas como mostra o croquis da Figura 22b.

Figura 22 - Protótipo com sensores de umidade e temperatura e seu respectivo croquis



Fonte: O Autor (2020)

As posições de corte dos tubos do protótipo foram definidas, tomando-se como referência à altura de 84cm da bombona, de modo a permitir a inserção de sensores de umidade de solo (SENO 193) e temperatura (DHT22) na sua base, meio e topo. Os sensores foram protegidos por telas. Ao operar, o tubo externo rotaciona, fechando as aberturas do tubo interno, ou abrindo-as para o registro dos parâmetros físicos, nas diferentes posições, ao longo da compostagem.

### 3.1.2.3 Limites para o controle automatizado da umidade, temperatura e ciclo de aeração

Para o estabelecimento de limites para o controle automatizado dos sensores de umidade, temperatura e do ciclo de aeração do sistema de compostagem, foram consultadas diferentes fontes de pesquisa, com o objetivo de serem construídos algoritmos de programação para o arduíno.

Os limites inferiores e superiores de temperatura e umidade, utilizados no processo de compostagem, para os algoritmos (programas) do arduíno, bem como o para o sistema liga-desliga do soprador (ciclo de aeração) são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19- Parâmetros físicos e de aeração utilizados nos algoritmos do arduíno para o processo de compostagem

<b>Parâmetros</b>	<b>Limites</b>	<b>Unidades</b>
Temperatura	40.0-60.0 <sup>a</sup>	°C
Umidade	40.0-60.0 <sup>a</sup>	% (m/m)
Sistema liga-desliga do relé	5-30 <sup>b</sup>	min

Fonte: a- CEMPRE (2018); b-Ruggieri *et al.* (2008)

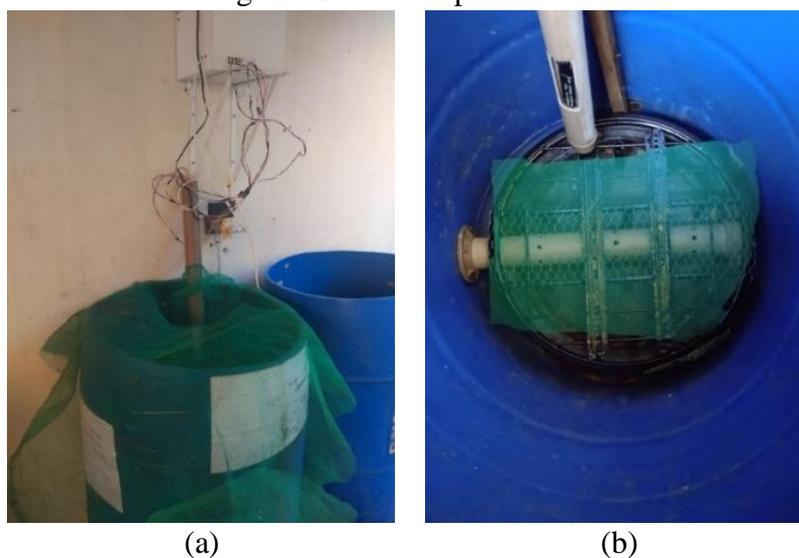
O relé liga o soprador quando os limites superiores de temperatura e umidade do processo de compostagem, mostrados na Tabela 19, forem ultrapassados ou quando a temperatura está abaixo do limite inferior de 40°C, para auxiliar na atividade biológica de degradação da MO compostada e liberação de calor para o sistema, como mostra a Equação 1. O soprador é desligado pelo relé quando a umidade do processo está abaixo de 40% (m/m) ou dentro da faixas dos limites de temperatura e umidade mostrados na Tabela 19. O ciclo de aeração proposto por Ruggieri *et. al* (2008), mostrado na Tabela 19, foi o inicialmente adotado para o processo de compostagem na bombona de PEAD, os sopradores permaneceram 5 minutos ligados para 30 minutos desligados com taxa de aeração de 1L/kg.min, equivalente a 41 ciclos/dia. A taxa de aeração foi variando ao longo do processo de compostagem, de acordo com a alimentação, em batelada, da planta piloto.

#### 3.1.2.4 Construção do sistema de compostagem com aeração forçada

O sistema de compostagem de aeração forçada constituiu-se de uma bombona de PEAD de 200 L, disposta verticalmente sobre pallet, contendo em sua base uma torneira e uma tubulação flexível para a coleta do chorume. No centro da planta piloto foi inserido o protótipo com os sensores de temperatura e umidade (Figura 23a). Na parte superior da bombona, foi adicionada uma rede de nylon para evitar a presença de insetos no material a ser compostado.

Uma tubulação em PVC de 60 mm foi fixada a 13 cm da base da bombona por meio de um flange, a tubulação apresenta 3 orifícios, com 6mm de diâmetro cada, espaçados de 25cm. Sobre a tubulação perfurada foi colocada uma grade para a sustentação do material a ser compostado (Figura 23b) e uma tela de nylon de malha fina, para proteger os orifícios perfurados.

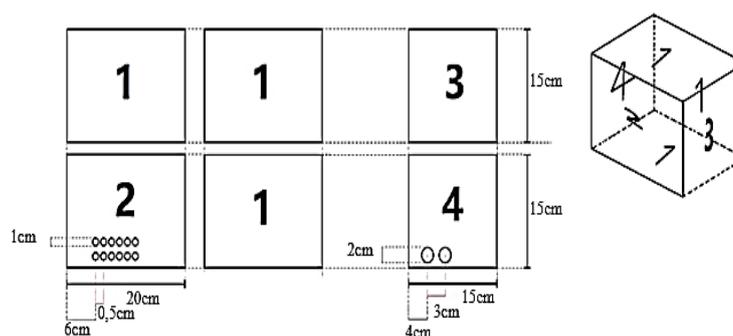
Figura 23 – Planta piloto e a sua base



Fonte: O Autor (2020)

Acima da tubulação foi colocado ainda um tapete de borracha automotivo, com recortes nos orifícios de injeção de ar, para evitar que o material a ser compostado se acumule abaixo da entrada da tubulação.

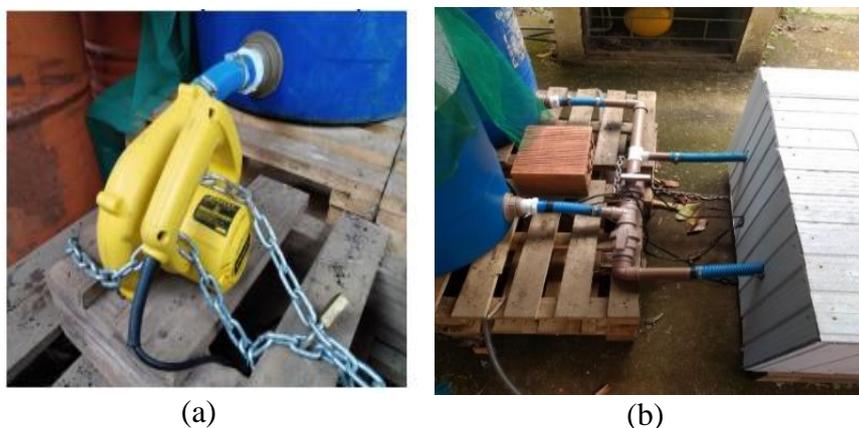
Instalou-se uma caixa de MDF, com dimensões 20cmx15cmx15cm acima da bombona de 200L, Figura 23a. A caixa apresenta 12 furos frontais de 1mm de diâmetro para permitir a conexão do arduino com os sensores do protótipo e 2 furos na lateral esquerda de 2mm de diâmetro para saída dos fios que ligam o relé ao soprador (Figura 24). Esta caixa acomoda e protege contra intempéries o microcontrolador arduino, uma placa de borne que aumenta a segurança das conexões entre o microcontrolador e os fios, o relé, o cartão Micro SD, e a placa protoboard, que comporta algumas ligações elétricas. No topo da caixa há uma tampa, por onde passa a fonte de 12V, responsável por alimentar o arduino.

Figura 24 - *Layout* da caixa da planta piloto

Fonte: O Autor (2020)

Um soprador de ar da marca/modelo STANLEY-STP600-B2, 220 volts, 600 watts de potência, Figura 25a., foi conectado à tubulação de PVC utilizando de redutor 60/40. Um registro, válvula gaveta, de PVC soldável de 40mm foi utilizado para a abertura e fechamento da injeção de ar na bombona. Para a proteção do sistema elétrico do soprador foi construída também uma estrutura colocada na frente da planta piloto, retangular, constituída internamente de madeira, e externamente de PVC, com um sistema acartonado para o isolamento acústico como mostra a Figura 25b.

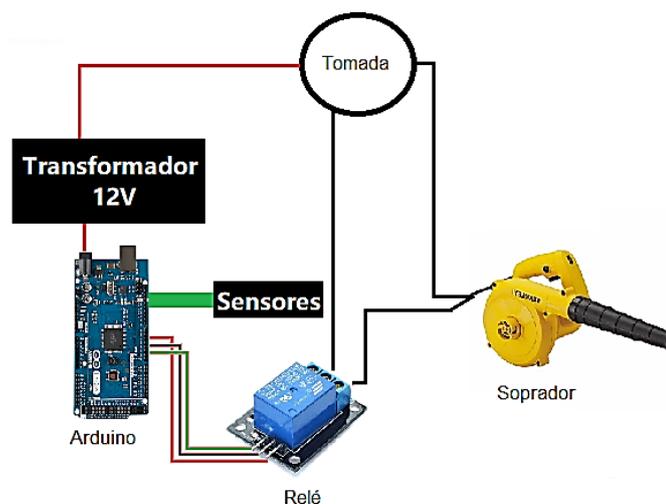
Figura 25 – Soprador STANLEY e sua estrutura de proteção acústica e elétrica



Fonte: O Autor (2020)

O sistema automatizado para o controle da aeração construído, constitui-se de um relé (sistema liga/desliga) de 5V, um canal (127-220V) para arduíno de corrente máxima de 10A, um soprador, um arduíno Mega 2560 e um transformador de 12V. A Figura 26 apresenta o sistema descrito. Para que o soprador seja ligado ou desligado pelo arduíno, é importante que o sistema tenha um relé. Esse dispositivo é uma chave que executa a abertura ou fechamento do circuito do motor e da alimentação dele. Isso significa que o arduíno terá total controle sobre a alimentação do motor, mas não terá controle sobre a vazão deste.

Figura 26- Sistema automatizado para o controle da aeração



Fonte: O Autor (2020)

O soprador possui um botão seletor para 7 faixas de vazões possíveis (Tabela 20). O conhecimento destas faixas de vazões é importante para o estudo da taxa ótima de aeração do RSO compostado.

Tabela 20 - Faixas de vazões do soprador STANLEY

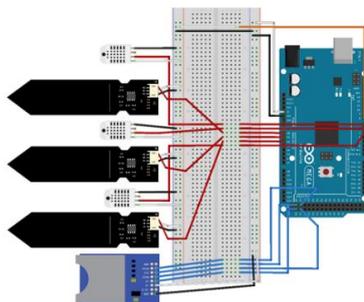
Posição do Botão Seletor	1	2	3	4	5	6	7
Vazão (L/s)	6,1	8	11	14	16	25	31

Fonte: O Autor (2020)

Nesta pesquisa iniciou-se o processo de compostagem com aeração forçada na posição 1 do seletor, equivalente a uma vazão de 6,1L/s, após o preenchimento da bombona com RSO segregado do RSU, selecionou-se o botão seletor 4, equivalente a vazão de 14 L/s.

Para armazenar os dados das leituras dos sensores de temperatura e umidade em função do tempo, foi utilizado um cartão Micro SD e um leitor deste, compatível com o arduino. A Figura 27, mostra as ligações feitas entre os sensores e o arduino, incluindo o módulo de leitura e escrita do cartão Micro SD.

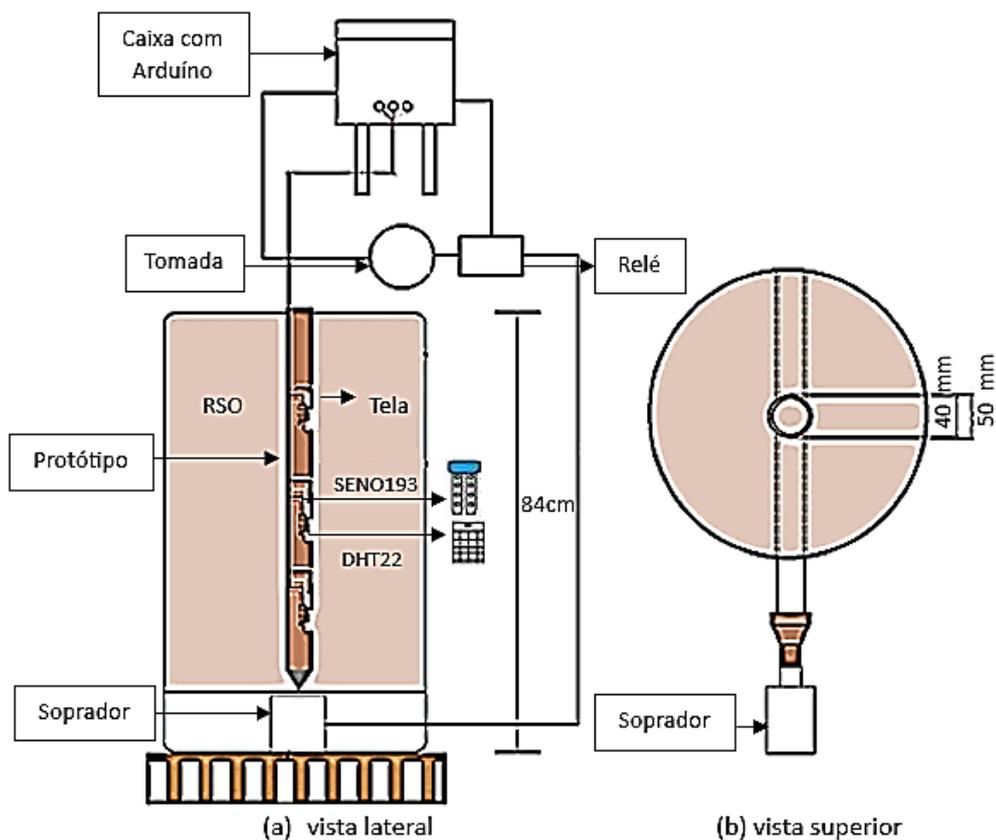
Figura 27 - Ligações entre os sensores, arduino e o cartão Micro SD



Fonte: O Autor (2020)

O *layout* da planta piloto automatizada, constituída pela bombona, soprador, protótipo com sensores de umidade e temperatura e a caixa contendo a fiação do sistema automatizado, arduino, relé, fonte, placas e cartão Micro SD para armazenamento de dados é mostrada na Figura 28. Este sistema de aeração forçada foi colocado embaixo de uma estrutura com telhado, para evitar-se a entrada de águas pluviais no mesmo.

Figura 28 – *Layout* da planta piloto automatizada com o protótipo: a. vista lateral e b. vista superior



Fonte: O Autor (2020)

### 3.1.2.5 Material orgânico e a sua sequência de montagem na planta piloto

O material orgânico utilizado no processo de compostagem constituiu-se do RSO segregado do RSU, podas de árvores e folhas secas e maravalha.

O RSO segregado do RSU foi coletado na zona leste do município de Porto Alegre/RS-BRASIL, mais especificamente na Estação de Transbordo Lomba do Pinheiro (ETLP) de RSU Classe II-A, pertencente ao DMLU e localizada a 23km do centro da cidade. A ETLP é mostrada na Figura 29a. De acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) do município de Porto Alegre a ETLP ocupa uma área efetiva de aproximadamente 1 ha e encontra-se dentro de uma área maior, de 18,7 ha (PGIRS-DMLU, 2013).

A coleta domiciliar do RSU, foi realizada por um caminhão compactador de 10t, mostrado na Figura 29b., em dias pares: segundas, quartas e sextas-feiras. O RSO triado foi fornecido pela zona PD39 (par/dia – zona 39) do bairro Lomba do Pinheiro, uma zona considerada de classe baixa. A movimentação, deslocamento e empilhamento dos RSU, é realizada nesta estação de transbordo com o auxílio de uma pá-carregadeira, como mostrada na Figura 29b.

Figura 29– ETLP do DMLU, caminhão compactador e pá-carregadeira



Fonte: O Autor (2021)

O RSO do RSU, foi triado de forma manual, conforme mostra a Figura 30a., armazenado em sacos plásticos de 100L e posteriormente pesados, Figura 30b.

Após a triagem manual do RSO do RSU, procedeu-se o processo de amostragem de acordo com a norma NBR 10007 (ABNT, 2004b). Após o quarteamento, coletou-se 500g do

material triado e enviou-se ao laboratório Pró-Ambiente para a caracterização físico-química, do RSO do RSU (Anexo J).

Figura 30– Triagem manual e pesagem do RSO na ETLP do DMLU



Fonte: O Autor (2021)

Os sacos plásticos com o RSO foram transportados, Figura 31a, até a área externa do LEAmet, estes resíduos passaram pelo processo de diminuição manual de granulometria, Figura 31b., antes de serem alimentados na planta piloto.

Figura 31– Transporte e diminuição de granulometria do RSO da ETLP do DMLU



Fonte: O Autor (2021)

Foram segregados um total de 180 kg de RSO do RSU que alimentaram a planta piloto em três bateladas (Tabela 21).

Tabela 21 – Cargas coletadas de RSU e de RSO para a alimentação da planta piloto

Data	Batelada	Carga coletada de RSU da zona PD39 (kg)	Carga segregada de RSO (kg)
26/10/2021	1 <sup>a</sup>	6530	52
10/11/2021	2 <sup>a</sup>	6210	31
26/11/2021	3 <sup>a</sup>	5790	97
Total	-	18.530	180

Fonte: O Autor (2021)

Para alimentação da planta piloto, foram coletados também 10kg de pontas de podas de árvores com espessuras menores que 15mm e folhas secas. Este MO foi coletado na área externa do Centro de Tecnologia (CT) da Escola de Engenharia da UFRGS, pesadas na área externa do LEAmet (Figura 32a.) e armazenadas em sacos plásticos de 20kg (Figura 32b). Após a coleta, procedeu-se amostragem, de acordo com a norma NBR 10007 (2004b). Foram coletados 500g deste material e enviados ao laboratório LAS da UFRGS para a sua caracterização físico-química (Anexo I).

Figura 32 – Pesagem e armazenamento das pontas de podas de árvores e folhas secas coletadas no CT da UFRGS



(a)



(b)

Fonte: O Autor (2021)

Na base da bombona, sobre a tubulação de injeção de ar do soprador, foi colocado uma cama, mostrada na Figura 33a. Esta cama foi construída alternando-se 150g de maravalha, 500g de poda e finalizando-se com 150g de maravalha, totalizando-se 800g de material orgânico.

Após a construção da cama, continuou-se a montagem do material a ser compostado em camadas com a alternância de RSO e podas de árvore e folhas secas umedecidas, iniciando-se as camadas por substrato e repetindo-se a sequência até a última camada de restos de alimento

(Figura 33b.), coberta por maravalha, como mostra a Figura 32c., a fim de evitar mau cheiro e a atração de vetores.

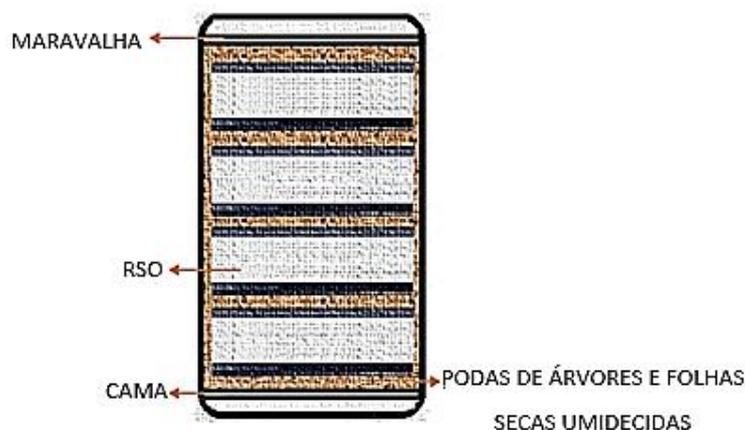
Figura 33 – Cama, RSO e sua cobertura colocados na bombona de PEAD



Fonte: O Autor (2021)

A sequência de montagem do MO inserido na bombona foi adaptada do modelo utilizado por Nunes (2009) para LEA. O volume de MO efetivamente preenchido pela bombona de 84cm, foi de 72cm, pois a tubulação de saída de ar foi colocada a 10cm do fundo da bombona, na última batelada ficou 2cm de espaço livre na bombona. As camadas de MO variaram de acordo com as diferentes bateladas. Na 1ª batelada foi adicionado 2cm de maravalha para a cama, na 2ª e 3ª bateladas foram adicionados 1cm, acima da MO. Alternaram-se na planta piloto, camadas de 50cm, 26cm e 69cm de RSO, na 1ª, 2ª e 3ª bateladas, com camadas de 2cm de podas de árvores e folhas secas umedecidas conforme mostra a sequência da Figura 34.

Figura 34 - Sequência de montagem do MO na planta piloto



Fonte: O Autor (2021)

Os valores totais de materiais compostados em cada batelada na planta piloto são mostrados na Tabela 22. O conhecimento do valor total do material compostado é importante para a determinação da taxa ótima de aeração e o recalque do processo. Na 3ª batelada foi adicionado uma maior quantidade de MO, para que a bombona fosse preenchida até próximo da sua borda.

Tabela 22 – Total de material compostado na planta piloto e em cada batelada

Batelada	Podas de árvores e folhas secas (kg)	Maravalha (kg)	RSO (kg)	Total de material compostado (kg)
1ª	2,16	0,30	52,00	54,46
2ª	1,29	0,15	31,00	32,44
3ª	4,04	0,15	97,00	101,19
Total	7,49	0,60	180,00	188,09

Fonte: O Autor (2021)

Para o cálculo da proporção de cada fonte de material a ser misturada da Tabela 22, utilizou-se as equações 8 e 9, descritas por Graves *et al.* (2010), as quais se baseiam apenas no parâmetro da relação C/N de cada fonte de material orgânico, conforme descrito:

$$X_{Ca} + Y_{Cb} = C \quad (7)$$

$$X_{Na} + Y_{Nb} = N \quad (8)$$

Onde:

$X_C$  = conteúdo de C do material X

a = proporção do material X na mistura

$Y_C$  = conteúdo de C do material Y

b = proporção do material Y na mistura

C = conteúdo de C na mistura

$X_N$  = conteúdo de N do material X

$Y_N$  = conteúdo de N do material Y

N = conteúdo de N na mistura

De acordo com Graves *et al.* (2010), a relação C/N final para a mistura deve ser de 35:1. O material X foi considerado o RSO da ETLP, com percentuais de C de 10% e de N de 0,3%,

estes resultados foram obtidos do laudo de análises do laboratório Pró-Ambiente (Anexo H) O material Y foi considerado ponta de podas de árvores e folhas secas, com percentuais de C de 40% e de N de 0,78%, estes resultados foram obtidos do laboratório LAS da UFRGS (Anexo D). A partir dos dados de C e N dos materiais orgânicos e da utilização das equações 8 e 9, determinou-se a proporção de mistura dos resíduos orgânicos de 96% m/m de restos de alimento e 4% m/m de podas de árvores e folhas secas.

### *3.1.2.6 Determinação do recalque e do volume de chorume gerado no processo de compostagem*

O recalque ou redução do volume da MO, devido a sua biodegradação foi medido somente a partir da 3ª batelada, quando a planta piloto já estava preenchida próximo a borda com a MO a ser compostada, as medições ocorreram com trena ao longo do processo de compostagem (Figura 35a). A determinação deste parâmetro auxilia na determinação do período da compostagem, da sua degradação inicial até a sua estabilização. O tempo das leituras dos sensores, de umidade e temperatura, no topo, no meio e na base da bombona, também depende do recalque.

O líquido lixiviado obtido ao longo do processo de compostagem, resultante da decomposição da MO, chorume, foi armazenado em uma bombona de 5L (Figura 35b) ao longo do processo, seu volume foi quantificado em balões volumétricos e após armazenado novamente na bombona para ser recirculado no processo, para umidades abaixo de 40%.

Figura 35 – Medição do recalque e armazenamento do chorume gerado ao longo do processo de compostagem

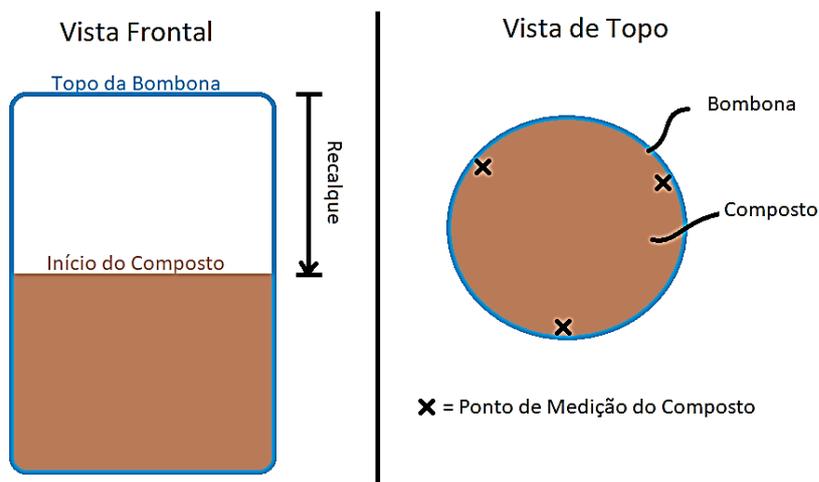


(a)

(b)

A Figura 36 mostra que as medidas do recalque foram realizadas em três posições diferentes do material e o valor final foi baseado na média aritmética dos três resultados.

Figura 36 – Posições de medição do recalque



Fonte: O Autor (2022)

### 3.1.2.7 Avaliação dos parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos classes A e B

A avaliação dos parâmetros de qualidade do composto constituiu-se na última etapa da compostagem com sistema automatizado. As análises físico-químicas das diferentes bateladas desta etapa e do composto maturado (fertilizante orgânico Classe B), foram realizadas pelo laboratório Pró-Ambiente (Anexo J). O resultado do laudo da análise do vermicomposto (fertilizante orgânico classe A), foi fornecido pelo LAS da UFRGS (Anexo A).

Os parâmetros de qualidade avaliados para o vermicomposto foram: umidade, C, N, pH, relação C/N, macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Os parâmetros de qualidade avaliados para o composto maturado foram: umidade, C, N, pH, relação C/N, metais tóxicos: As, Cd, Pb, Hg, Ni e Se, Cr, Zn e Cu, macronutrientes: N, S, P, Ca e Mg e micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Co e Zn.

Ao longo do processo de compostagem foram avaliados ainda os parâmetros físico-químicos: densidade, temperatura, umidade, carbono orgânico, condutividade elétrica, pH, relação C/N, MO e CTC. Para verificar a sanitização do composto maturado, também foram avaliados parâmetros microbiológicos: coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.*

### 3.2 ETAPA II – ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE RAVF E SUBSTRATO COMERCIAL AOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS CLASSES A e B

Nesta etapa foram construídos dois tipos de substratos, ambos utilizando taxas variáveis de RAVF e substrato comercial adicionadas a uma taxa fixa aos compostos: vermicomposto (substrato do Tipo I) e composto maturado (substrato do Tipo II).

O aditivo substrato comercial adicionado nos diferentes substratos vegetais teve o objetivo de: dar sustentação para as raízes da aveia preta, propiciar espaços vazios para respiração do seu sistema radicular, nutrir as mudas e reter água nos vasos.

#### 3.2.1 Matérias-primas utilizadas nos substratos Tipos I e II

As matérias-primas utilizadas na composição dos substratos foram:

- Substratos do Tipo I – substrato comercial + RAVF + vermicomposto.
- Substratos do Tipo II – substrato comercial + RAVF + composto maturado.

No Quadro 4, são apresentadas imagens das diferentes matérias-primas utilizadas na composição dos substratos vegetais dos Tipos I e II.

Quadro 4 – Matérias-primas utilizadas na composição dos substratos vegetais

<b>Matérias - primas</b>			
<b>Vermicomposto</b>	<b>RAVF</b>	<b>Substrato Comercial</b>	<b>Composto Maturado</b>
			

Fonte: O Autor (2020)

### **3.2.2 Coleta e análises físico-químicas das matérias-primas constituintes dos substratos Tipos I e II**

Quatro materiais foram coletados e deles retiraram-se amostras as quais foram utilizadas para caracterização dos mesmos. O processo de amostragem para todos os materiais valeu-se da norma NBR 10007 (2004b) para quarteamento das amostras.

Em relação ao processo de vermicompostagem, foram coletados 30 kg de vermicomposto ao qual foi armazenado em sacos plásticos. Após o processo de amostragem, coletou-se 300g de húmus de minhoca e enviou-se para análise físico-química dos parâmetros de qualidade do composto, de acordo com a IN SDA 25 (Brasil,2009a) e IN SDA 61 (Brasil, 2020a).

A massa total coletada do composto maturado da planta piloto com automação e aeração forçada foi de 12,57 kg. Com o objetivo de ser garantida a qualidade do composto maturado, conforme exigido pela IN 61 (Brasil, 2020a) foram coletadas amostras de 300 g a cada duas semanas, da 1ª até a 3ª batelada. As amostras foram encaminhadas para análise físico-química de: umidade, C, N, pH, relação C/N, posteriormente a frequência de análise dos parâmetros C, N e a relação C/N passou a ser mensal e o pH e a umidade a cada duas semanas até a maturação do composto.

Para caracterização dos limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos, foram coletadas 300g de amostra, no início do processo, e avaliados os metais tóxicos: As, Cd, Pb, Hg, Ni e Se, utilizando-se a IN SDA 7 (Brasil, 2016a). Os metais Cr, Zn e Cu como não são citados na IN SDA 7 (Brasil, 2016a) foram avaliados utilizando-se a IN SDA 17 (Brasil, 2014). Para verificar a sanitização do composto maturado, foram coletadas 300g de composto maturado e realizaram-se análises microbiológicas, utilizando-se como referência a IN SDA 7 (Brasil, 2016a).

Foram coletados 400kg de RAVF, em uma indústria metalúrgica, localizada no município de Porto Alegre/RS- Brasil. Este material foi armazenado 20 sacos de 20 kg cada, os quais foram posteriormente armazenados em 2 tonéis de 200L. Os locais de coleta, pesagem e armazenamento de RAVF, são mostrados respectivamente nas Figuras 37a., 37b. e 37c. Obtiveram-se 300g de RAVF após quarteamento da amostra. Este material foi enviado ao LAS da UFRGS para a caracterização físico-química, de metais tóxicos, micronutrientes e macronutrientes (Anexo B).

Figura 37 – Local de coleta, pesagem e armazenamento do RAVF



Fonte: O Autor (2021)

Comparou-se o resultado das análises físico-químicas de RAVF à resolução CONAMA 420 (Brasil, 2009b), semelhante ao que foi realizado por Hermenegildo (2011). Esta resolução dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. O Anexo II desta resolução traz uma lista de valores orientadores para solos.

O valor de prevenção definido por esta resolução é o limite máximo de uma substância que permita ao solo sustentar suas funções principais como servir de meio básico para sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos; manter o ciclo da água e dos nutrientes; servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos; proteger as águas superficiais e subterrâneas; servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural; constituir fonte de recursos minerais; e servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos.

A mesma resolução define valores de investigação que são a concentração no solo de determinada substância acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado: agrícola, residencial ou industrial.

A IN SDA 7 (Brasil, 2016a) foi utilizada para comparar os resultados do laudo de caracterização do RAVF com os limites máximos de contaminantes admitidos em substratos para plantas (Anexo IV) e os limites máximos de contaminantes utilizados em fertilizantes orgânicos (Anexo V) desta instrução normativa. A IN SDA 17 (Brasil, 2014) também foi

utilizada, esta instrução normativa regula alguns metais tóxicos que não estão citados na IN SDA 7 (Brasil, 2016a).

O substrato comercial da marca Carolina Soil® para sementes, foi adquirido do comércio local em 05/01/2020, após o processo de quarteamento, uma amostra de 300g foi coletada e enviada para análise laboratorial a fim de caracterizar umidade, pH, densidade, CO e nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B (Anexo C). Este substrato apresenta na sua composição as seguintes matérias-primas: turfa de sphagnum, perlita expandida, vermiculita expandida e casca de arroz torrefada.

### 3.2.3 Procedimentos amostrais, armazenamento e análise de fertilidade dos substratos Tipos I e II

Após a coleta, armazenamento, amostragem e caracterização das matérias-primas realizaram-se as misturas para a formação dos substratos vegetais Tipos I e II as quais valeram-se de recipiente de plástico e espátula (Figura 38a.). Foi necessária cominuir o composto maturado para facilitar a sua homogeneização nos constituintes dos substratos Tipo II. Para este procedimento utilizou-se almofariz e pistilo (Figura 38b.).

Figura 38- Procedimentos amostrais para os substratos Tipos I e II



Fonte: O Autor (2021)

As composições (% m/m) dos substratos vegetais Tipos I e II são mostradas na Tabela 23. A faixa de percentuais de RAVF para a construção dos substratos vegetais está baseada na literatura pesquisada. Considerando-se a ausência do RAVF 0% (m/m) como sendo o branco.

Tabela 23 – Composição dos tratamentos dos substratos Tipos I e II

Tratamentos	Composição % (m/m)	
	Substratos Vegetais do Tipo I	Substratos Vegetais do Tipo II
A	0% de RAVF +50%substrato comercial +50% de vermicomposto	0% de RAVF +50%substrato comercial +50% de composto maturado.
B	10% de RAVF + 40% substrato comercial +50% de vermicomposto	10% de RAVF + 40% substrato comercial +50% composto maturado.
C	20% de RAVF + 30% de substrato comercial +50% de vermicomposto	20% de RAVF + 30% de substrato comercial +50% de composto maturado.
D	30% de RAVF +20% de substrato comercial + 50% de vermicomposto	30% de RAVF +20% de substrato comercial + 50% de composto maturado.
E	40% de RAVF + 10% de substrato comercial + 50% de vermicomposto	40% de RAVF + 10% de substrato comercial + 50% de composto maturado.
F	50% de RAVF +0% de substrato comercial+ 50% de vermicomposto	50% de RAVF +0% de substrato comercial+ 50% de composto maturado.

Fonte: O Autor (2022)

Após o preparo dos diferentes tipos de substratos vegetais da Tabela 23, coletaram-se 300g de amostra para cada tratamento que foram armazenados em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 39).

Amostras de todas as misturas foram enviadas para de fertilidade (Anexos D e E). Os parâmetros avaliados de fertilidade dos substratos vegetais foram: teores de argila, MO, pH em água,  $Al_{troc}^{+3}$ ,  $Ca_{troc}^{+2}$ ,  $Mg_{troc}^{+2}$ , H+Al, CTC, bem como a saturação da CTC por bases e os nutrientes: P, K, S, Zn, Cu, B e Mn, conforme determinação de Tedesco *et al.* (1995).

Figura 39- Armazenamento em sacos plásticos dos substratos Tipos I e II



Fonte: O Autor (2021)

### 3.3 ETAPA III – PLANTIO DE SEMENTES DE AVEIA PRETA NOS SUBSTRATOS TIPOS I E II

Utilizou-se como unidade experimental de plantio das sementes, 18 vasos de polipropileno (PP) para cada tipo de substrato (Tipos I e II), cada um com capacidade de 4L, contendo 5 furos realizados na lateral, localizados a 3cm da base dos vasos. Os vasos foram identificados e preenchidos com os diferentes substratos vegetais (tratamentos), após foram colocados em uma mesa, na área externa do LEAmet, e expostos ao meio ambiente (Figura 40). A distribuição dos tratamentos na unidade experimental se deu através de sorteio.

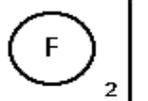
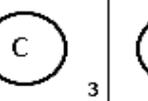
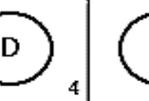
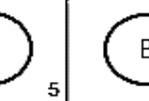
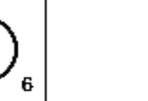
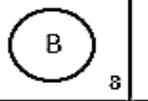
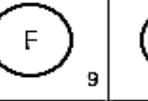
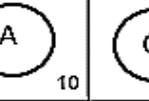
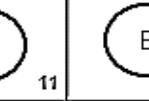
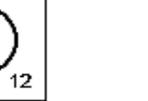
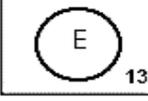
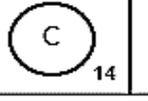
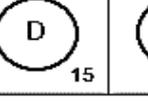
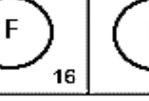
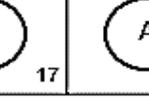
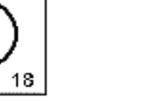
Figura 40 – Unidade experimental para o plantio da aveia preta nos substratos Tipos I e II



Fonte: O Autor (2021)

Mais especificamente, para os experimentos foi realizado um delineamento estatístico em blocos casualizados, compreendendo os 6 tratamentos e 3 blocos (repetições) para cada tipo de substrato (Figura 41), ou seja, foram realizados um total de 12 tratamentos e utilizadas 36 unidades experimentais para os substratos Tipos I e II.

Figura 41 – Esquema de disposição das unidades experimentais para cada tipo de substrato

BLOCO I						
BLOCO II						
BLOCO III						

Fonte: O Autor (2021)

Sementes da aveia preta, *Avena Strigosa Schreb*, Figura 42, da empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA), da variedade EMBRAPA 139 (Neblina), foram escolhidas para o plantio no experimento nos vasos. Esta gramínea foi escolhida por ser muito utilizada na região sul do Brasil, para a pastagem do gado, cobertura de solos e adubação verde.

Figura 42 – Aveia Preta – EMBRAPA 139 (Neblina)



Fonte: O Autor (2021)

O plantio de aveia preta teve o objetivo de avaliar a faixa de suficiência de nutrientes fornecida pelos substratos para esta gramínea. Foram plantadas 20 sementes de aveia preta em cada vaso, com percentuais de germinação de 80% e pureza de 96% estabelecidos pela

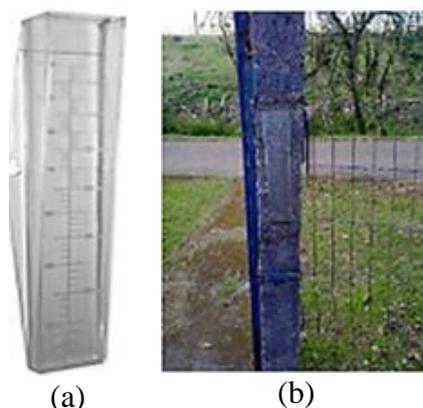
IN SDA 44 (Brasil, 2016b). A profundidade de sementeira escolhida foi de 3 cm, este valor ficou dentro da faixa proposta para plantio (2-4cm) pela EMBRAPA (2000). O plantio das sementes da aveia preta nos substratos do Tipo I ocorreu no dia 06 de julho de 2021 e do Tipo II ocorreu no dia 08 de julho de 2022.

### 3.3.1 Avaliação das condições de cultivo da aveia preta nos substratos Tipos I e II

Mediu-se a umidade dos substratos Tipos I e II em todos os vasos (unidades experimentais) durante o cultivo da aveia preta para irrigar-se o experimento sempre que necessário. Ainda, realizou-se a coleta de dados de precipitação e temperatura ambiente estimando-se que estes auxiliariam a explicar o crescimento da aveia.

O índice pluviométrico foi medido com o auxílio de um pluviômetro mostrado na Figura 43a, instalado em campo aberto, na área externa do LEAmet, em um mourão de cerca, a 1,5m de altura a partir do solo como mostra a Figura 43b. As medidas de precipitação foram acumuladas, realizadas três vezes por semana, em dias alternados, com intervalos de 48h e 72h.

Figura 43 – Pluviômetro e sua instalação na área externa do LEAmet



Fonte: O Autor (2021)

A coleta de dados de temperatura foi realizada sempre no mesmo período e horário, das medições de precipitação, utilizando-se o site ClimaTempo (2021). Utilizou-se a Tabela 15 para interpretação dos dados de precipitação e a Tabela 16 para a interpretação dos dados de temperatura.

As medições de umidade dos substratos foram realizadas, nas mesmas datas e intervalos de tempo que as medidas de índice pluviométrico e temperatura. As umidades foram medidas utilizando-se o circuito da Figura 44a. O sistema automatizado, mostrado na Figura 44b. é

constituído de sensor higrômetro de umidade de solo YL-69, *display* para leitura de sinal analógico, placa *protoboard* e arduíno. As medidas de umidade foram realizadas em cinco pontos diferentes, nas posições mostradas na Figura 44c., em cada um dos 36 vasos dos substratos Tipos I e II. Após a coleta de dados de umidade nestes pontos, procedeu-se o cálculo das suas médias para posterior construção dos gráficos de umidade ao longo dos meses de cultivo da aveia preta.

Para a determinação do percentual adequado de umidade das misturas Tipos I e II nos vasos para os diferentes tratamentos, verificou-se os seus teores de argila. Adotou-se os limites de umidade de 60-80% propostos por Cruz *et al.* para o cultivo da aveia preta devido à textura arenosa das misturas (Anexos D e E),

Figura 44– Circuito, sistema automatizado e pontos de medição de umidade nos vasos



Fonte: O Autor (2021)

### 3.3.2 Avaliação dos nutrientes, matéria seca, dimensões e morfologia externa da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e I

Foram realizadas análises químicas de nutrientes e MS do tecido vegetal, foliar e radicular, da aveia preta, cultivada nos substratos do Tipo I e II (Anexo E e F). Analisaram-se macronutrientes primários: N, P e K, macronutrientes secundários: Ca, Mg e S e micronutrientes: Cu, Zn, Fe, Mn e B. As dimensões da aveia preta avaliadas foram: comprimento da parte aérea, comprimento radicular, largura foliar e comprimento foliar.

As medições das lâminas (Figura 45) foram realizadas no início com régua e após com trena, a partir da lígula exposta até a extremidade oposta das folhas, elas ocorreram 3 vezes por semana, até o final da fase reprodutiva da gramínea, 97 dias após o plantio das sementes para os substratos do Tipo I e 104 dias após o plantio das sementes para substratos do Tipo II. No final deste período, ocorreram as medições das suas larguras foliares, comprimentos aéreos

(colmos + folhas) e radiculares. A largura foliar foi medida considerando-se a maior dimensão perpendicular ao eixo do comprimento.

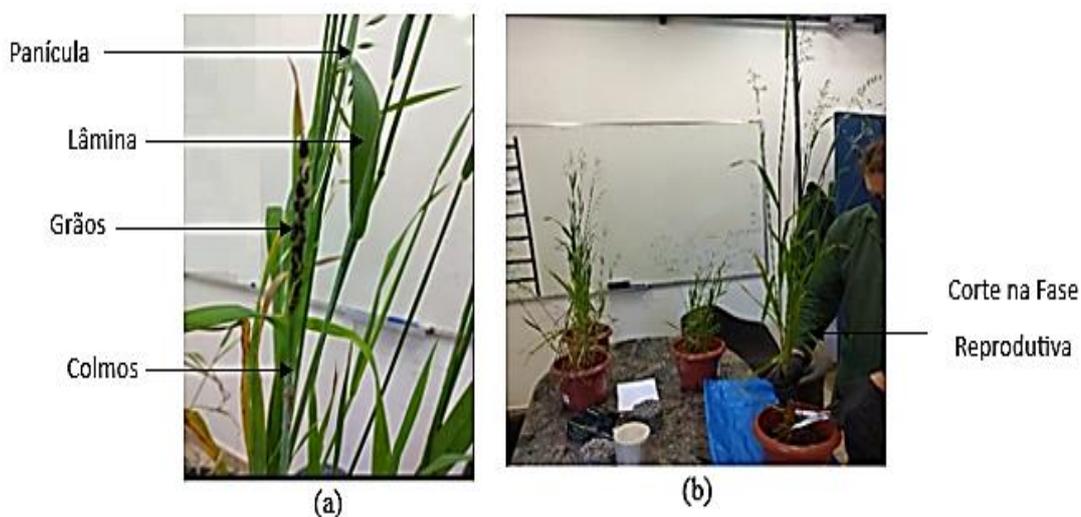
Figura 45 – Medição do comprimento foliar médio da aveia preta



Fonte: O Autor (2021)

O corte da aveia preta cultivada nos substratos Tios I e II, foi realizado na área interna do LEAmet na sua fase reprodutiva. A morfologia externa da aveia apresentou estruturas semelhantes ao Quadro 3, com: panículas, colmos alongados, lâminas desenvolvidas e grãos de coloração escura em alguns tratamentos para ambos os tipos de substratos (Figura 46a). Seguindo o critério adotado por Artico (2018) a totalidade da parte aérea de cada vaso foi cortada a 2cm da superfície dos substratos vegetais (Figura 46b).

Figura 46 – Morfologia externa da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II e coleta da sua parte aérea na sua fase reprodutiva



Fonte: O Autor (2021)

A fase reprodutiva da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II, são mostradas respectivamente nas Figuras 47 e 48.

Figura 47 – Crescimento da aveia preta nos 6 tratamentos e repetições dos diferentes substratos do Tipo I (RAVF+SUBS.+VERM.)



Tratamento A: 0% RAVF + 50%SUBS. + 50% VERM.; Tratamento B: 10% RAVF + 40%SUBS. + 50% VERM.;  
Tratamento C: 20% RAVF + 30%SUBS. + 50% VERM. Tratamento D: 30% RAVF + 20%SUBS. + 50% VERM.;  
Tratamento E: 40% RAVF + 10% SUBS. + 50% VERM.; Tratamento F: 50%RAVF. + 0% SUBS. + 50% VERM.

Fonte: O Autor (2021)

Figura 48 – Crescimento da aveia preta nos 6 tratamentos e repetições dos diferentes substratos do Tipo II (RAVF+SUBS. +COMP.)



Tratamento A: 0% RAVF + 50%SUBS. + 50% COMP.; Tratamento B: 10% RAVF + 40%SUBS. + 50% COMP.;  
Tratamento C: 20% RAVF + 30%SUBS. + 50% COMP. Tratamento D: 30% RAVF + 20%SUBS. + 50% COMP.;  
Tratamento E: 40% RAVF + 10% SUBS. + 50% COMP.; Tratamento F: 50% RAVF. + 0% SUBS. + 50% COMP.  
Fonte: O Autor (2022)

A totalidade do tecido foliar (tratamento e repetições) da aveia preta de cada vaso foi cortado e armazenado em sacos de papel pardo, com identificação. Logo em seguida estas

amostras foram secas em estufa de ar forçado a 65°C, até peso constante, para quantificação da MS e posterior moagem para análise de nutrientes.

O sistema radicular de cada vaso foi separado manualmente do solo, com o auxílio de um pincel, como mostra a Figura 49a. Todo material coletado foi colocado em peneiras (Figura 49b) e lavado em água desmineralizada. Procedeu-se inicialmente a desidratação das raízes em bandejas, após adotou-se as mesmas condições de secagem, armazenamento (Figura 49c) e análises do tecido foliar.

Figura 49 - Separação manual, lavagem das raízes e armazenamento do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II



(a)



(b)



(c)

Fonte: O Autor (2021)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos testes iniciais realizados em ambiente de laboratório, onde foram utilizados substrato comercial e sensores para medir temperatura e umidade na avaliação dos algoritmos de programação do arduíno. Além disso, os resultados da compostagem adotando um sistema automatizado e aeração forçada também são abordados. A qualidade dos fertilizantes orgânicos é analisada, com ênfase nas classes A (vermicomposto) e B (composto maturado), assim como as análises de fertilidade dos substratos vegetais dos tipos I e II são detalhadas. Informações sobre as condições de cultivo, os nutrientes, a MS e as dimensões da aveia preta semeada nesses substratos também são apresentadas e discutidas. Ao finalizar o capítulo, são feitas comparações entre os resultados dos substratos vegetais tipos I e II, visando identificar as taxas de RAVF que demonstram maior viabilidade técnica e ambiental para a sua utilização.

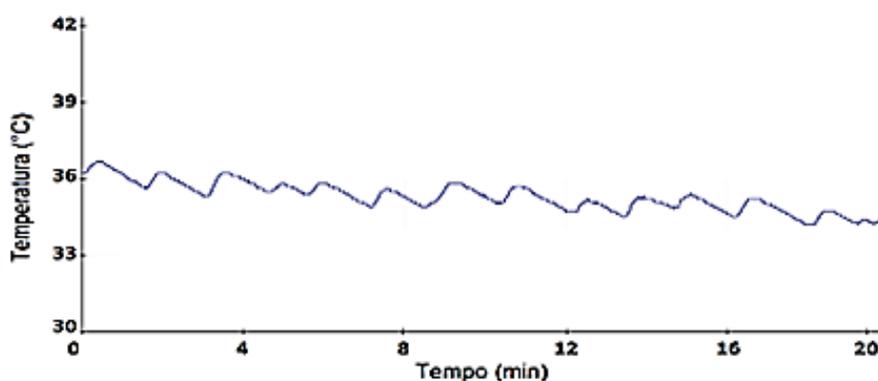
### 4.1 ETAPA I – ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DA QUALIDADE DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS CLASSES A e B

Primeiramente serão discutidos os resultados obtidos dos testes realizados com os sensores de temperatura e umidade inseridos em um substrato comercial no laboratório da LAEFT da UFRGS e logo após o processo do sistema de compostagem com sistema automatizado e aeração forçada realizado no laboratório LEAmet da UFRGS. Também serão abordados os parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos classes A e B obtidos.

#### 4.1.1 Controle automatizado da temperatura e umidade de um substrato comercial

Após a montagem do experimento laboratorial para o estudo dos sensores de umidade e temperatura de solos, procedeu-se a coleta dos dados através do software *CoolTerm* para a verificação dos sinais emitidos por eles ao longo do tempo. No Teste 1, simplesmente foram realizadas as medições de temperatura do ar pelo sensor DHT22, ao longo do tempo que saia através dos furos da tubulação que estava dentro da caixa, inicialmente sem substrato. O resultado deste teste é mostrado na Figura 50.

Figura 50 - Curva de temperatura, medidas com o sensor DHT22 ao longo do tempo, dentro da caixa sem substrato, no Teste 1

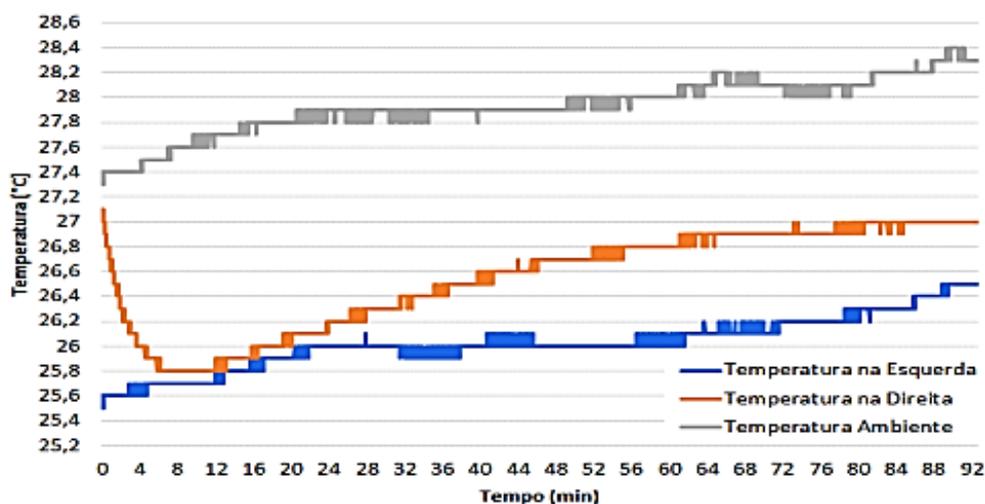


Fonte: O Autor (2020)

Verifica-se através da Figura 50 que o valor da temperatura ficou em torno de 35,7 °C, com variações de  $\pm 1,5$  °C. A temperatura ambiente no momento do teste ficou entre 21,5 °C e 22 °C.

O Teste 2, mostrado na Figura 21a, foi realizado com três sensores DHT22, sendo que dois deles foram colocados dentro da caixa, um mais à direita e o outro mais à esquerda, com o objetivo de medirem a temperatura do substrato comercial. O terceiro sensor DHT22 foi colocado no meio ambiente. O gráfico das medições de temperatura destes sensores ao longo do tempo é mostrado na Figura 51.

Figura 51 - Curvas de temperatura, medidas com sensores DHT22, colocados na posição horizontal, na caixa com substrato e no ambiente externo, ao longo do tempo no Teste 2.



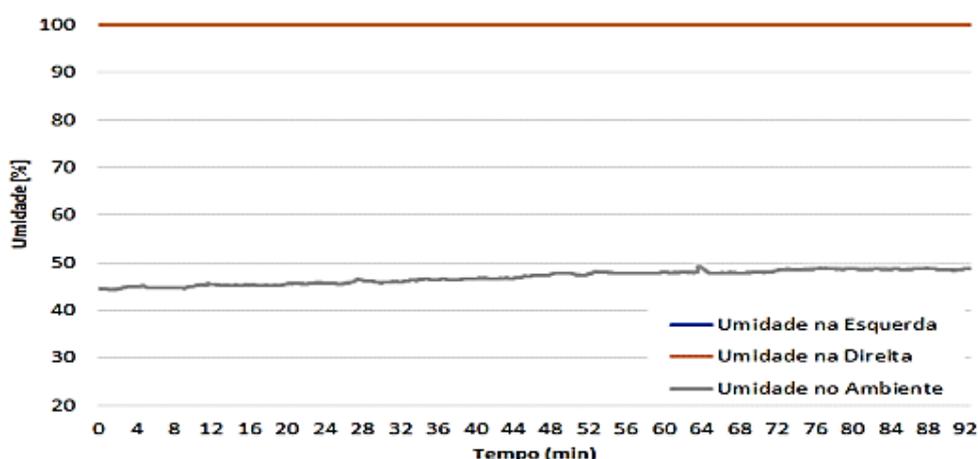
Fonte: O Autor (2020)

Observa-se nesta figura que houve um decréscimo rápido da temperatura no ponto direito da caixa; ali, a temperatura inicial era próxima à temperatura ambiente e decresceu em aproximadamente 8 minutos próximo à temperatura da esquerda da caixa. A temperatura à esquerda da caixa teve um acréscimo gradual. Após 92 minutos de teste, a temperatura no sensor da esquerda subiu aproximadamente  $1,2^{\circ}\text{C}$ , enquanto este acréscimo foi de  $1,1^{\circ}\text{C}$  no sensor da direita (tendo como ponto de referência o tempo de 8 minutos).

Verifica-se, ainda na Figura 51, que a temperatura medida do ambiente ao longo deste teste permaneceu sempre acima das temperaturas medidas no interior do substrato comercial. Estima-se que a diferença de temperatura entre a curva do sensor na direita para a curva do sensor na esquerda deva-se a caminhos preferenciais do ar, resultando em uma passagem não simétrica deste pelo substrato. Entretanto, ambas as curvas aumentam a sua temperatura ao longo do tempo.

Os sensores DHT22 utilizados no Teste 2 (Figura 21a.), foram avaliados também quanto a sua aplicabilidade para a medição da umidade. Os resultados encontrados são mostrados na Figura 52. As curvas de umidade medidas pelos sensores DHT22 inseridos dentro da caixa, indicam que ele não pode ser usado se estiver em contato com um material úmido não gasoso, como o substrato utilizado neste teste. A umidade medida nos sensores DHT22 inseridos dentro da caixa, tanto na posição esquerda quanto direita, ficou estagnada em 100% ao longo de todo o período de testes, as curvas ficaram sobrepostas (Figura 52). O sensor DHT22 mostrou-se adequado para a medição da umidade ambiente, como mostra a Figura 51, onde os valores encontrados ficaram na faixa de 45-50%.

Figura 52 - Curvas de umidade na caixa com substrato e no ambiente, medidas com o sensor DHT22, ao longo do tempo para o Teste 2.

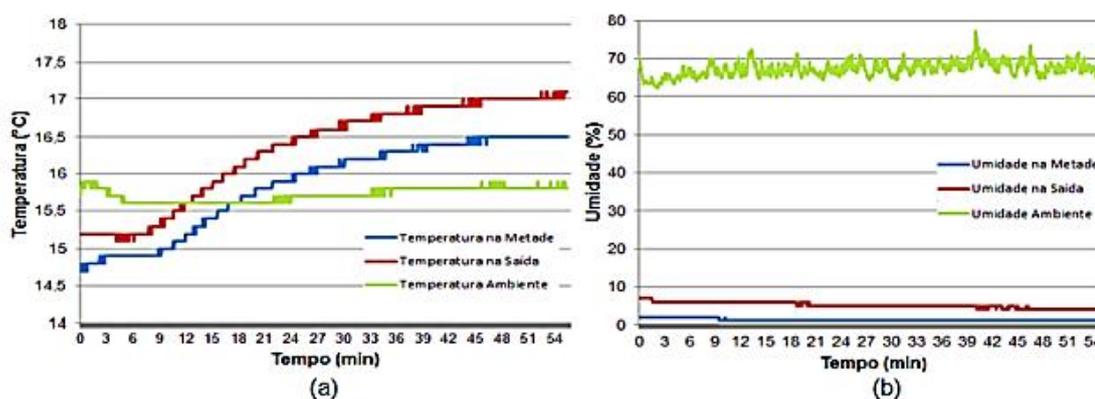


Os resultados do Teste 3, mostrados na Figura 21b. realizados com o sensor de temperatura DHT22 dentro da caixa (na metade e na base), próximo a saída de ar (temperatura ambiente) são mostrados na Figura 53. A Figura 53a. mostra que, no início, ambas as temperaturas medidas dentro da caixa foram menores que a temperatura ambiente, contudo, ao longo do experimento, seus valores aumentaram cerca de  $1,9^{\circ}\text{C}$  para o sensor na saída do tubo e  $1,2^{\circ}\text{C}$  para o sensor na metade da altura. Isso indica que o comportamento do substrato em uma linha vertical é o mesmo, mas com menor magnitude quanto maior a distância da saída de ar. Já a temperatura ambiente ficou entre  $15,1$  e  $15,3^{\circ}\text{C}$ .

As medições de umidade foram realizadas com dois sensores YL-69 colocados dentro do substrato, o esquema da disposição destes sensores no Teste 3 é mostrado na Figura 21b. Os resultados deste teste são mostrados na Figura 53b. Verifica-se nesta figura que as umidades nos sensores YL-69 dentro da caixa decresceram ao longo do tempo do experimento em ambos os pontos de coleta de dados.

Para as medidas do sensor na saída houve um decréscimo de aproximadamente 4% e para o sensor na metade da altura, 2%. A umidade ambiente ficou majoritariamente dentro do intervalo de 60-70%, mas tendo pontos onde ultrapassou este limite superior. É importante ressaltar que as temperaturas medidas pelos sensores dentro do substrato (Figura 51), foram menores que a temperatura que realmente sai do aquecedor onde mediram-se  $35,7 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , mostrada na Figura 50 do Teste 1. Isso se dá devido a maior dificuldade do substrato de transferir calor. A umidade medida nos sensores também diminuiu, seguindo o padrão inverso da temperatura: quanto mais perto da saída de ar, mais rápido decresce a umidade.

Figura 53 - Curvas de temperaturas medidas com sensores DHT22 e curvas de umidades medidas com sensores YL-69, obtidas no Teste 3.



Fonte: O Autor (2020)

O resultado do experimento laboratorial para melhor entendimento dos sensores, foram úteis para: i) o entendimento das suas ligações com o arduíno, ii) verificação da eficiência de suas aplicações em um meio sólido (substrato) e iii) para o estudo dos algoritmos de programação do arduíno para os parâmetros físicos temperatura e umidade

Verificou-se, através do resultado do Teste 2 (Figura 21a.) mostrado na Figura 52, que o sensor DHT22 não é adequado para medir a umidade de um material sólido, apenas a temperatura. Devido aos resultados do Teste 3, mostrados na Figura 53a. e 53b., utilizou-se o sensor DHT22 para medição de temperatura o sensor YL-69 para umidade no protótipo. No entanto, verificou-se corrosão do sensor YL-69, ao medir-se a umidade do material orgânico compostado, a corrosão ocorreu por ele não ser um sensor encapsulado. Desta forma, os sensores YL-69 do protótipo foram substituídos por sensores encapsulados SEN0193, que foram utilizados até o final do processo de compostagem com sistema automatizado. Os sensores de temperatura DHT22 não apresentaram problemas ao longo do processo da compostagem.

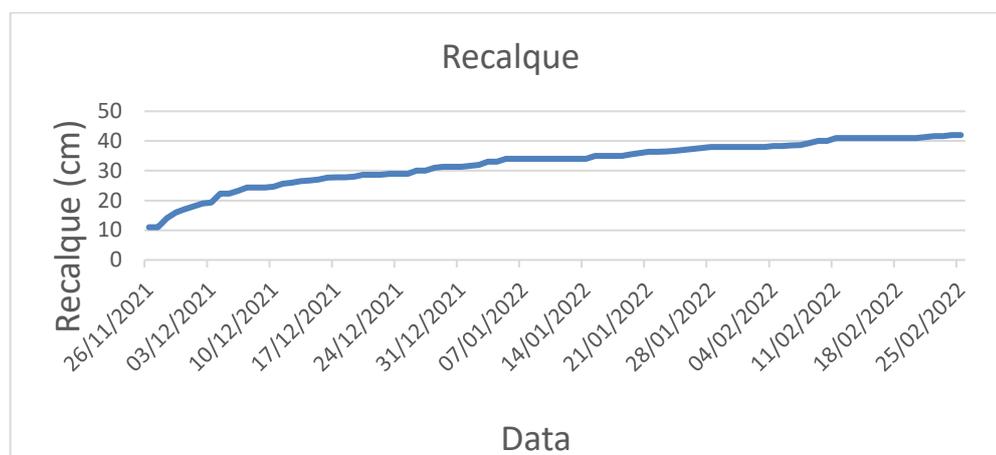
#### **4.1.2 Controle do processo e do sistema automatizado da compostagem com aeração forçada**

Serão discutidos nesta seção os resultados obtidos do processo e do monitoramento automatizado da taxa de aeração, temperatura e umidade da compostagem com aeração forçada

##### *4.1.2.1 Determinação do recalque, do volume de chorume e da massa do composto maturado*

O resultado das medições do recalque iniciada na 3ª batelada, é mostrado na Figura 54. É possível notar nesta figura que o recalque aumenta ao longo do tempo de experimento, partindo do valor inicial de 11 cm no dia 26/11/2021 para 42 cm no dia 25/02/2022, onde ocorreu a estabilização da MO. Contabilizando este período verifica-se que o processo de compostagem com aeração forçada durou 91 dias. É importante ressaltar que as leituras (topo, meio e fundo) dos sensores de umidade e temperatura inseridos no protótipo da Figura 22 estão intimamente associados ao recalque.

Figura 54 – Recalque do material compostado ao longo do processo de compostagem



Fonte: O Autor (2022)

Ao finalizar-se o processo da compostagem, procedeu-se o armazenamento do composto orgânico maturado remanescente da bombona de 200L e realizou-se a sua pesagem. A massa final encontrada do composto maturado foi de 12,57 kg. Em relação à massa total inicialmente colocada na planta piloto de 188,09 kg verifica-se que houve uma redução de 93,32 % (m/m).

No dia 19/01/2022, foi realizada a medição do volume de chorume gerado ao longo do processo de compostagem. Sua medição foi realizada com auxílio de dois balões volumétricos de 2L e uma proveta de 500 mL. O volume de chorume gerado pela massa de 188,09 kg de material compostado foi de 4,4 L. Este volume foi recirculado no processo, no dia 19/01/2022, pois os sensores de umidade SEN0193 localizados no meio e no fundo do protótipo na planta piloto registraram umidades abaixo do limite inferior de 40% programado.

#### *4.1.2.2 Controle automatizado da taxa de aeração, da temperatura e da umidade ao longo do processo da compostagem*

##### • Controle da Taxa de Aeração

As taxas de aeração variaram ao longo do processo, conforme a planta piloto foi sendo preenchida com as cargas de MO, das diferentes bateladas mostradas na Tabela 22. O processo de aeração iniciou-se com uma taxa de 1 L/kg.min. Após a 1ª batelada passou para 0,96 L/min.kg, após a 2ª batelada passou para 1,08 L/kg.min e finalmente após a 3ª batelada até a maturação do produto final a taxa de aeração foi mantida em 1,1 L/kg.min. Estes valores

adotados tiveram como referência os estudos realizados por Ruggieri *et al.* (2008). O controle automatizado do sistema liga-desliga dos sopradores, mostrou-se eficiente ao longo do processo de compostagem por aeração forçada. É importante observar que os sopradores injetaram ar na planta piloto com ciclos e limites de temperatura e umidade programáveis, mostrados na Tabela 19, o que se constitui uma forma eficiente de economia de energia.

A aeração forçada durante a compostagem na planta piloto deu-se conforme proposto por Ruggieri *et al.* (2008) mostrado na Tabela 19. Este ciclo de aeração indica uma taxa de aeração de 1 L/min.kg com o soprador mantido ligado por 5 minutos e desligado por 30 minutos, equivalendo a 41 ciclos/dia. A vazão durante as duas primeiras semanas, 1ª batelada, foi de 6,1 L/s. Tendo-se em conta a massa total compostada na 1ª batelada de 54,46 kg, verificou-se que a taxa de aeração neste período foi de 0,96 L/min.kg, semelhante à utilizada por Ruggieri *et al.* (2008).

A massa total a ser compostada na 2ª batelada foi de 86,90 kg. Caso fosse mantida a vazão inicial a taxa de aeração ficaria em 0,6 L/min.kg, ou seja, abaixo da referência adotada. Desta forma intensificou-se a vazão de ar para 11 L/s. Utilizando-se este valor e o mesmo ciclo de aeração diário da 1ª batelada, verificou-se que a taxa de aeração da 2ª batelada foi de 1,08 L/min.kg. Esta taxa de aeração, foi fornecida ao material compostado por mais duas semanas até a alimentação da 3ª batelada.

A massa total a ser compostada na 3ª batelada foi de 188,09 kg. Mantendo-se o botão seletor do soprador na posição 3 (Tabela 20), equivalente a uma vazão de 11 L/s verificou-se que a taxa de aeração ficaria em 0,50 L/min.kg e na posição 4, com uma vazão de 14L/s, ficaria em 0,64 L/min.kg, ambos os valores ficaram abaixo da referência adotada de 1L/min.kg, proposta por Ruggieri *et al.* (2008). Desta forma nesta batelada foram realizados ajustes tanto no tempo de aeração por ciclo quanto na vazão. Os tempos ajustados para o controle automatizado do sistema liga-desliga do soprador para a 3ª batelada foram de 10 minutos ligado por 30 minutos desligado, equivalente a 36 ciclos/dia. A vazão do soprador adotada para esta batelada foi de 14L/s. Com este ciclo de aeração adotado e está vazão, determinou-se a taxa de aeração para a 3ª batelada que foi de 1,1 L/min.kg. Esta taxa de aeração foi mantida constante até a maturação do produto final.

- **Controle da Temperatura e da Umidade**

Para medições da temperatura e umidade do processo de compostagem adotou-se o protótipo da Figura 22 com sensores de temperatura DHT22 e umidade de solos SEN0193, a

leitura dos dados destes parâmetros iniciou-se logo após a inserção da 3ª batelada do RSO da ETLP na planta piloto, no dia 26 de novembro de 2021.

A temperatura no processo de compostagem foi registrada por três sensores DHT22. Estes sensores foram inseridos no protótipo nas posições do topo, meio e fundo mostrados na Figura 22. As leituras destes sensores dentro do material em processo de compostagem ocorreram em tempo real, com armazenamento de dados em um cartão Micro SD, mostrado na Figura 27. Os diferentes intervalos de tempo de leitura de cada sensor ocorreram de acordo com os recalques mostrados na Figura 54. Os períodos de contato dos sensores com o material e os seus respectivos recalques são mostrados na Tabela 24.

Tabela 24 – Períodos de contato dos sensores DHT22 com a MO e seus respectivos recalques

Sensor DHT22	Período	Recalque (cm)
Topo	26/11/2021 – 29/11/2021	17
Meio	26/11/2021 – 24/01/2022	37
Fundo	26/11/2021 – 25/02/2022	42

Fonte: O Autor (2022)

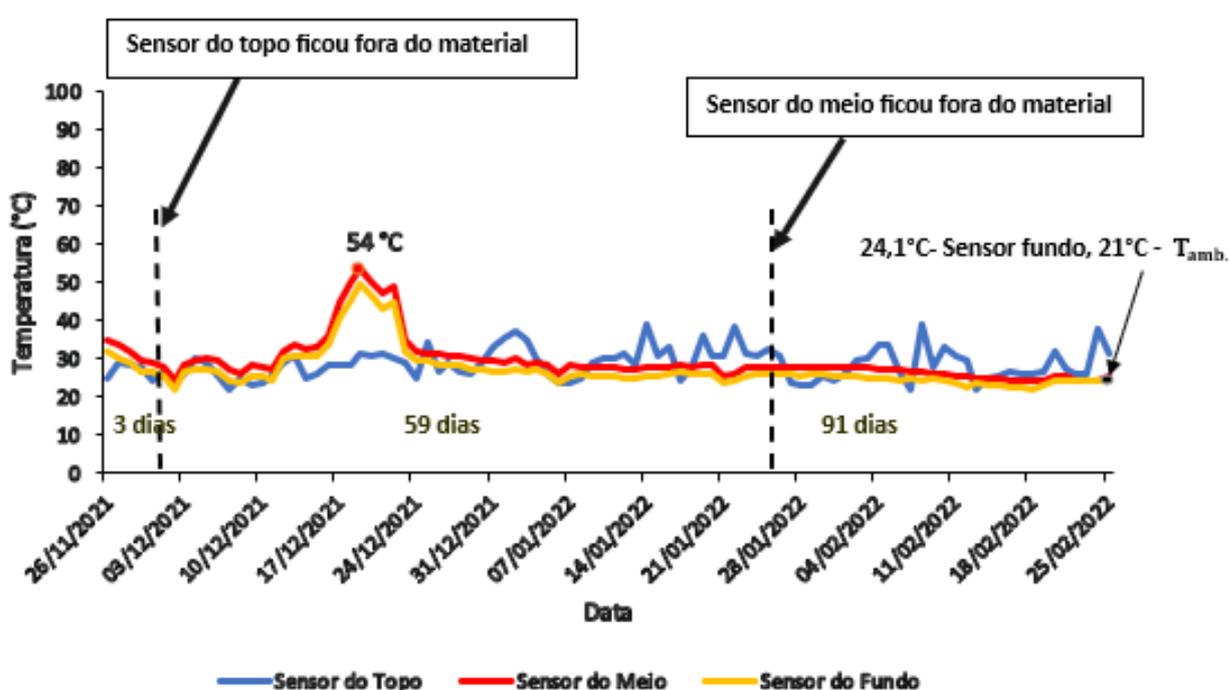
Após os sensores do topo e meio ficarem expostos pela redução do volume do material em compostagem, estes continuaram as leituras, registrando a temperatura do ar externo que circundava o composto. O sensor do fundo permaneceu em contato com material ao longo do processo.

O gráfico da Figura 55, apresenta os registros de temperatura dos sensores DHT22 nas posições, mostradas na Tabela 24, as linhas pontilhadas deste gráfico, mostradas na vertical, representam o final do período de leitura de cada sensor.

Em relação às posições das leituras dos sensores de temperatura DHT22 na bombona (topo, meio e fundo), verificou-se que: o sensor topo realizou a leitura por 3 dias, o do meio por 59 dias e o do fundo por 91 dias (Figura 55), estas diferenças de tempos de leitura se devem à redução do volume de resíduos (recalque) associado à biodegradação do RSO. Em nenhum momento, ao longo do processo, foi registrado o limite superior de 60°C. Ocorreram temperaturas abaixo de 40°C, neste caso foi injetado ar na planta piloto para aquecer as bactérias. A compostagem ocorreu predominantemente na faixa mesófila. A fase termófila aconteceu por um período de 5 dias, a maior temperatura atingida foi de 54 °C registrada pelo sensor do meio. O sensor do meio foi aquele que registrou as maiores temperaturas; o sensor

do topo ficou a maior parte do tempo em contato com o ar externo registrando a temperatura ambiente enquanto o sensor do fundo ficou em contato com o chorume do material decomposto onde houve pouca atividade microbiana (bactérias aeróbias) pela ausência de oxigênio e a conseqüente liberação de calor. Ao final do processo, a temperatura do composto ficou 3,1°C acima da temperatura ambiente, dentro do padrão (3-5°C) proposto por Barros (2012).

Figura 55 – Registros de temperaturas dos sensores DHT22, ao longo do processo de compostagem



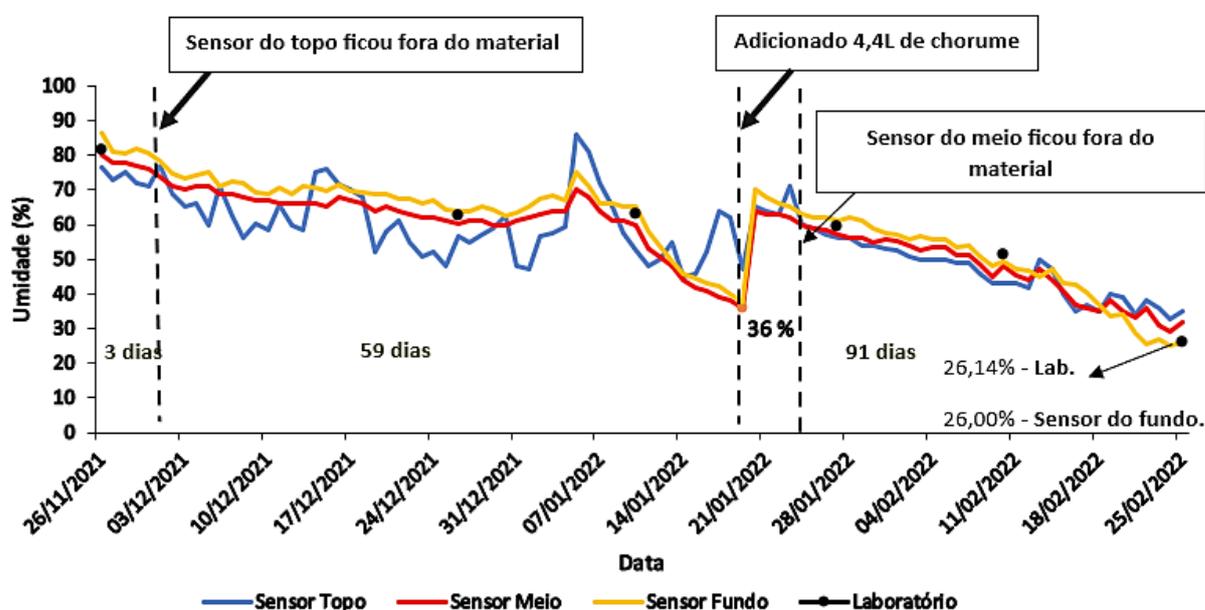
Fonte: Autor (2022)

Em relação ao monitoramento da temperatura e o tempo de higienização do composto, conforme a resolução CONAMA 420 (Brasil, 2009b) mostrado na Tabela 6, verifica-se através do gráfico da Figura 55, que o composto orgânico da planta piloto não atingiu nem a temperatura, nem o tempo adequado para a higienização do composto ( $T > 55^{\circ}\text{C}$  por 14 dias), portanto faz-se necessário verificar a sanidade do produto maturado através da análise microbiológica proposta na IN SDA 7 (Brasil, 2016a), para verificação de patógenos no produto final.

A unidade ao longo do processo de compostagem foi registrada por três sensores SEN0193. Assim como os sensores de temperatura, estes sensores foram inseridos no protótipo mostrado na Figura 22, nas posições do topo, meio e fundo e suas leituras dentro da MO

ocorreram em tempo real, com armazenamento de dados em um cartão Micro SD mostrado na Figura 27. Assim como os sensores de temperatura, os sensores de umidade do topo e do meio continuaram as suas leituras mesmo após terem ficado expostos, registrando a umidade do ar externo acima do composto. O sensor do fundo permaneceu em contato com material ao longo do processo. A Figura 56, apresenta os registros de umidade dos sensores SENO193 conforme Tabela 24, as linhas pontilhadas verticais deste gráfico representam o final do período de leitura de cada sensor e a data em que foi adicionado chorume recirculado no processo.

Figura 56 - Registros das umidades medidas em laboratório e pelos sensores SENO193, ao longo do processo de compostagem



Fonte: Autor (2022)

Os períodos de contato dos sensores de umidade SENO193 e as suas posições de leitura são idênticos aos sensores de temperatura. Observou-se ao longo do processo de compostagem, que a umidade ultrapassou 60% (m/m) em diversos períodos, sendo acionado automaticamente o relé para injeção de ar pelo soprador. Como era esperado, devido ao contato da MO com o chorume, o sensor do fundo registrou os maiores valores de umidade ao longo do processo. A umidade ficou abaixo do limite inferior programado, de 40% (m/m), nos sensores do meio e fundo, ao longo de 3 dias, atingindo um valor mínimo de 36% (m/m) (Figura 56). Desta forma, houve necessidade de recirculação da totalidade do volume de 4,4L do chorume gerado no processo, para aumentar a umidade do material, pois o composto ainda não se encontrava bioestabilizado. Amostras do material em compostagem foram coletadas, ao longo e no final

do processo da compostagem. As amostras foram enviadas para análise laboratorial para o laboratório Pró-Ambiente (Anexo J) para a verificação da umidade (pontos mostrados na Figura 56). Os valores encontrados foram semelhantes às leituras *online* dos sensores de umidade SENO 193. Estas análises foram realizadas com a seguinte frequência: no início da compostagem, após um mês e quinzenalmente até a maturação do produto final.

A importância das análises de umidade realizadas em laboratório é verificar se os sensores inseridos no protótipo, em diferentes posições, leram corretamente ao longo do processo de compostagem. A Tabela 25 apresenta os valores de umidades medidas na planta piloto - SENO193 e em laboratório e as posições onde se encontravam estes sensores no momento das medições.

Tabela 25 – Umidades medidas em laboratório e pelos sensores SENO193 nas diferentes posições

Data	Umidade		Posição (ões) do sensor (es) SENO193
	Laboratório (%)	Sensor (es) SENO193 (%)	
26/11/2021	81,47	76,43/81,95	Topo/Meio
26/12/2021	62,70	61,20 /63,28	Meio/Fundo
10/01/2021	63,35	60,0/65,00	Meio/Fundo
27/01/2021	59,26	61,00	Fundo
10/02/2022	51,25	51,24	Fundo
25/02/2022	26,14	26,00	Fundo

Fonte: O Autor (2022)

Avaliando-se a Tabela 25, verifica-se que as leituras das umidades ao longo do processo de compostagem encontradas pelos sensores SENO193, são coerentes com os resultados obtidos do laboratório.

#### 4.1.2.3 Avaliação dos parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos classes A e B

##### • Fertilizante orgânico classe A

O resultado das análises físico-químicas do húmus de minhoca é mostrado na Tabela 26. O laudo completo fornecido pelo LAS da UFRGS pode ser encontrado no Anexo A.

Tabela 26 – Resultados dos parâmetros do húmus de minhoca (fertilizante orgânico classe A) e padrões de qualidade

Parâmetros	Húmus de minhoca	Padrão
Umidade % (máx.)	83,0	50,0
N % (mín.)	5,3	0,5
C % (mín.)	36,0	10,0
pH (mín.)	5,7	6,0
Relação C/N (máx.)	6,8	14,0*

Fonte: IN SDA 25 (BRASIL, 2009a) e IN SDA 61 (BRASIL, 2020a) \* Garantia presente apenas na IN SDA 25 (BRASIL, 2009a)

Verifica-se através desta tabela, que a umidade ficou fora dos parâmetros de qualidade do produto que é de 50%. O pH ficou ligeiramente abaixo (pH=5,7) do limite (pH=6). De acordo com Guermandi (2015), umidade alta reflete uma alta carga de alimentos ricos em água, como melancia, maçã, tomate, pera, abacaxi e melão. A alta umidade do produto obtido nesta pesquisa também foi elevada devido ao processo de vermicompostagem ter sido realizado em um ambiente aberto de um condomínio, sujeito a chuva e conseqüente maior umidade do ar, conforme pode-se observar na Figura 16.

A Tabela 27, apresenta os teores de macronutrientes e micronutrientes encontrados no vermicomposto - Anexo A. Como a IN SDA 61 (Brasil, 2020a) estabelece somente uma exigência mínima de nitrogênio para o húmus de minhoca, optou-se por utilizar, para fins de comparação e verificação da adequação dos outros nutrientes no produto, as exigências mínimas dos nutrientes requeridos para fertilizantes organominerais especificadas na mesma norma.

Tabela 27 – Resultados dos nutrientes do húmus de minhoca e padrões de qualidade

Nutrientes		Unidade	Resultado	Padrão
Macronutrientes Primários	N (N)	% (m/m)	5,30	0,5*
	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		0,50	1,00
	K (K <sub>2</sub> O)		2,90	1,00
Macronutrientes Secundários	Ca	% (m/m)	0,84	1,00
	Mg		0,60	
	S		0,54	
Micronutrientes	B	mg/kg	23,00	0,01
	Cu		89,00	0,02
	Fe		808,00	0,02
	Mn		336,00	0,02
	Zn		91,00	0,02

Fonte: IN SDA 61 (Brasil, 2020a) \* Teor mínimo para húmus de minhoca, os demais nutrientes são para fertilizantes organominerais.

Observando-se a Tabela 27 verifica-se que a soma NPK  $\geq$  5% (m/m) foi atingida, garantindo a suficiência de nutrientes para o produto obtido.

O metal Cu, com uma concentração de 89 mg/kg, excedeu o limite máximo permitido pela legislação brasileira para ser classificado como um nutriente no húmus de minhoca, mostrado na Tabela 5. Esse metal é reconhecido como tóxico em compostos quando apresentado em níveis superiores a 70 mg/kg, segundo a IN SDA 17 (Brasil, 2014). Por outro lado, o metal Zn, com uma concentração de 91 mg/kg, permaneceu abaixo do valor de 200 mg/kg (Tabela 5), que é considerado tóxico no Brasil.

Os micronutrientes apresentaram níveis superiores ao padrão estabelecido. Ao verificar-se os níveis críticos de concentração de nutrientes em plantas (Tabela 17), observa-se que a concentração de Cu de 89 mg/kg e a de Fe de 808 mg/kg mostrados na Tabela 27, supera estes limites, que são respectivamente, para estes metais, de 20 mg/kg e 700 mg/kg. Assim, é importante ter cautela ao incorporar esse húmus de minhoca nas plantas, para evitar que os nutrientes excedam os limites toleráveis e se tornem tóxicos.

- **Fertilizante orgânico classe B**

O resultado do laudo da análise físico-química e bacteriológica composto maturado, oriundo do RSO segregado dos RSU, da coleta convencional realizada pelo DMLU, é mostrado na Tabela 28. Esta tabela também apresenta os resultados obtidos através da leitura dos sensores de umidade e temperatura, bem como os padrões adotados para verificação da qualidade do produto retirados da IN SDA 61 (Brasil, 2020a).

Tabela 28 – Resultados dos parâmetros do composto (fertilizante orgânico classe B) e padrões de qualidade

Parâmetros		Unidade	Resultado	Padrão
Carbono Orgânico (mín.)		% (m/m)	26,400	15,000 <sup>a</sup>
Temperatura (sensor DHT22)	Mesófila	°C	21,600-36,000	20,000-40,000 <sup>c</sup>
	Termófila		42,020-54,000	40,000-60,000 <sup>c</sup>
Densidade		kg/m <sup>3</sup>	266,100	150,000-350,000 <sup>b</sup>
Condutividade Elétrica (máx.)		mS/cm	2,600	< 4,000 <sup>d</sup>
Relação C/N (máx.)		-	13,300	20,000 <sup>a</sup>
pH	Inicial	-	6,730	5,000 – 6,000 <sup>d</sup>
	Composto		8,930	8,000-9,500 <sup>d</sup>
Umidade (laboratório/sensor SENO 193)		% (m/m)	26,140/26,000	≤ 50,000 <sup>a</sup>
CTC		cmol <sub>c</sub> /kg	38,510	30,500-31,700 <sup>e</sup>
Coliformes Termotolerantes		NMP/g de MS	ausentes	1000,000 <sup>f</sup>
<i>Salmonella sp.</i>		g de MS	ausentes	ausência em 10,000 <sup>f</sup>
Macronutrientes Primários	N (N)	% (m/m)	1,800	0,500 <sup>g</sup>
	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		1,070	
	K (K <sub>2</sub> O)		3,560	
Macronutrientes Secundários	Ca	% (m/m)	0,830	1,000 <sup>a</sup>
	Mg		0,630	
	S		0,200	
Micronutrientes	B	% (m/m)	ND*	0,010 <sup>a</sup>
	Cl		1,120	0,100 <sup>a</sup>
	Co		ND	0,005 <sup>a</sup>
	Cu		ND	0,020 <sup>a</sup>
	Fe		0,079	0,020 <sup>a</sup>
	Mn		0,010	0,020 <sup>a</sup>
	Mo		ND	0,005 <sup>a</sup>
	Ni		ND	0,005 <sup>a</sup>
	Se		ND	0,003 <sup>a</sup>
	Si		ND	0,050 <sup>a</sup>
	Zn		0,070	0,100 <sup>a</sup>

a- IN SDA 61 (Brasil, 2020a) para fertilizantes organominerais; b- Barros (2012); c- CEMPRE (2018); d- Dhein *et al.* (2020); e- Melo *et al.* (2008); f- IN SDA 17 (Brasil, 2014). g - IN SDA 61 (Brasil, 2020a) fertilizante orgânico composto sólido \* ND= Não detectado.

Fonte: O Autor (2022)

Por meio da Tabela 28, verifica-se que os resultados dos parâmetros químicos, carbono orgânico, condutividade elétrica, relação C/N (carbono/nitrogênio) e pH, do composto, ficaram dentro do limite especificado. O parâmetro químico capacidade de troca catiônica (CTC) ficou acima do padrão. Os parâmetros físicos, densidade, temperatura e umidade do produto obtido, também atenderam os limites adotados. Os microrganismos, coliformes termotolerantes e

*Salmonella sp.*, não foram encontrados no fertilizante orgânico. Estes resultados são importantes, pois as temperaturas para a sua sanitização não foram atingidas no processo.

Em relação aos nutrientes mostrados na Tabela 27, verifica-se que a soma NPK  $\geq$  5% (m/m) garantiu a suficiência de nutrientes para o produto de acordo com a IN SDA 61 (Brasil, 2020a).

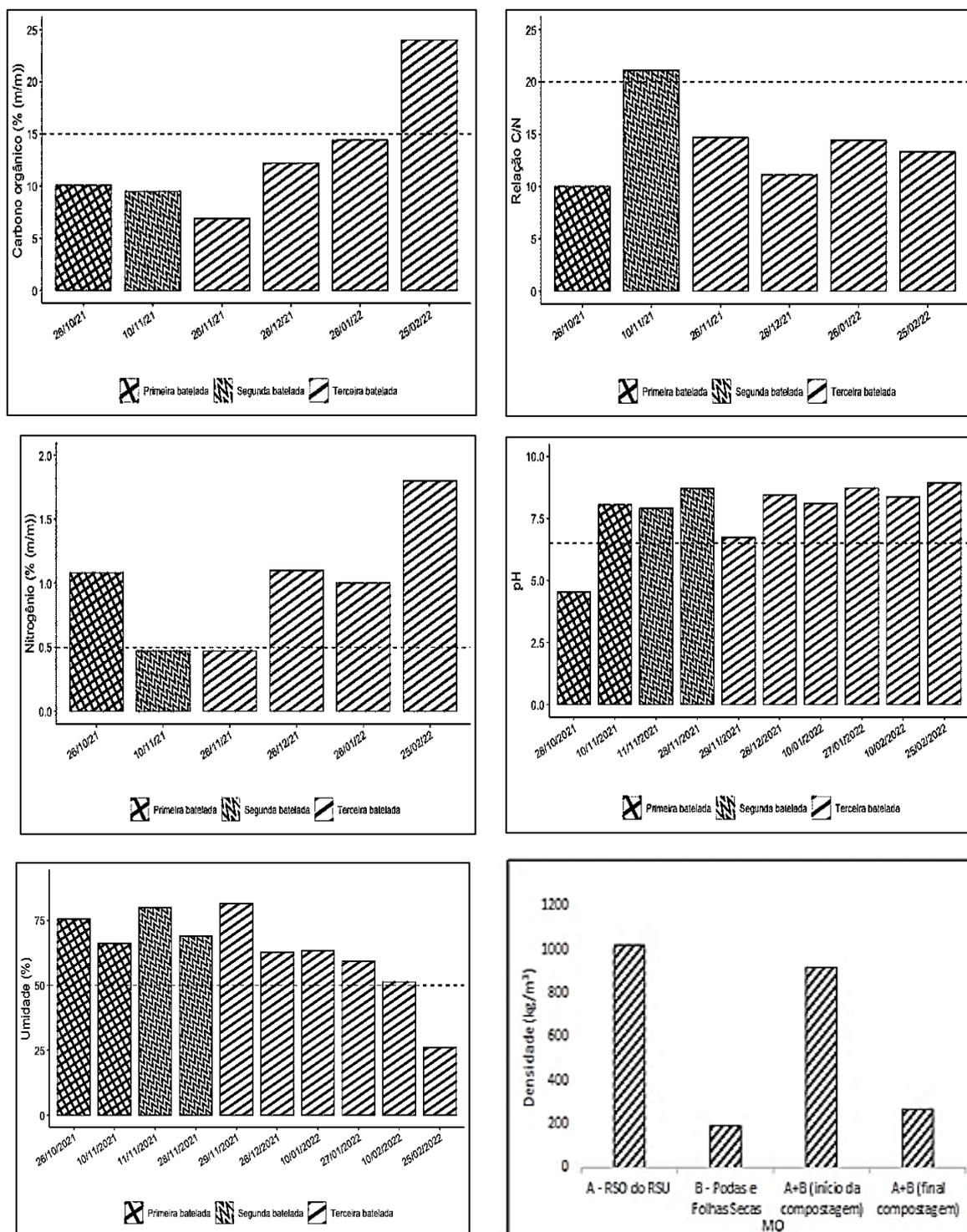
Os macronutrientes secundários Ca, Mg e S apresentaram as garantias mínimas, de qualidade, abaixo dos valores adotados como padrão.

Os micronutrientes Mo, Si, B, Co, Cu, Ni e Se, não foram detectados no composto, Zn e Mn ficaram com % (m/m) abaixo do padrão, o Cl e o Fe ficaram com % (m/m) acima do padrão.

Para estabelecer a utilização segura do composto em agricultura e evitar efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde humana, foram avaliados os metais tóxicos do composto. De acordo as análises (Anexo J) verificou-se que não foram detectados os metais tóxicos As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Co e Ni no composto. A concentração do metal tóxico Zn encontrada foi de 74,8 mg/kg, este valor está abaixo do padrão de 200 mg/kg IN SDA 17 (Brasil, 2014).

Os resultados das 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> bateladas da compostagem realizadas com um sistema automatizado estão ilustrados na Figura 57. As garantias de qualidade do composto são representadas pelas linhas pontilhadas. Para empregar o composto já maturado como parte dos substratos do Tipo II, foram verificadas as garantias mínimas de qualidade estabelecidas na subseção IV, artigo 8º, inciso II da IN SDA 61 (Brasil, 2020a), para o carbono orgânico e nitrogênio. Além disso, com base na mesma norma, foram analisados os limites máximos que garantam a qualidade do composto em relação ao teor de umidade e à relação C/N. A Figura 57 também apresenta o limite mínimo de pH =6,5, de acordo com a IN SDA 25 (Brasil, 2009a). A densidade do composto e as matérias-primas durante o processo de compostagem também são ilustrados nesta figura.

Figura 57 – Resultados dos parâmetros avaliados ao longo do processo da compostagem para as diferentes bateladas.



Fonte: O Autor (2022)

De acordo com a Figura 57, verifica-se que:

- O carbono orgânico atingiu a especificação (mínimo 15%) apenas na 3ª batelada, no dia 25/02/2022.

- A relação C/N esteve dentro das especificações (máxima 20) na 1ª batelada e ao longo da 3ª batelada, somente esteve fora do padrão na 2ª batelada, como pode ser observado no resultado encontrado no dia 10/11/2021, o valor da relação encontrado nesta data foi de 21,1.
- O N esteve dentro das especificações (mínimo 0,5%), na 1ª batelada e a partir da 2ª medição da 3ª batelada até o final do processo. Na 2ª batelada e no início da 3ª batelada as medições ficaram abaixo das garantias exigidas para fertilizantes orgânicos, os valores encontrados para o N na alimentação da MO nestas bateladas foram idênticos, com valor igual a 0,47%.
- O pH esteve fora das especificações (mínimo 6,5) da IN SDA 25 (Brasil, 2009a). Apenas na 1ª batelada o valor encontrado foi de 4,54. É importante ressaltar que a IN SDA 61 (Brasil, 2020a) não estabelece especificação para este parâmetro, apenas solicita a declaração dele no registro do produto.
- A umidade atingiu a especificação (máximo 50%) apenas na 3ª batelada no dia 25/02/2022.
- A densidade da mistura das matérias-primas (RSO+ podas e folhas secas) diminuiu em relação à densidade do RSO obtida, com isso verifica-se um aumento de volume de vazios no composto o que facilita o processo de aeração da compostagem com sistema automatizado. A densidade do composto maturado, obtida do laboratório Pró-Ambiente (Anexo J) foi bem menor que a do composto inicial devido à biodegradação da MO, que diminuiu a massa do composto. Este valor de densidade foi utilizado para o cálculo da massa do composto a ser adicionada aos diferentes aditivos (RAVF + substrato comercial) nos substratos do Tipo II.

## 4.2 ETAPA II – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO RAVF E SUBSTRATO COMERCIAL E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SUBSTRATOS TIPOS I e II

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos das análises físico-químicas dos aditivos adicionados aos fertilizantes orgânicos, bem como os parâmetros de fertilidade dos substratos Tipos I e II mostradas na Tabela 23.

### 4.2.1 Análise química de contaminantes do RAVF e de parâmetros físico-químicos do substrato comercial

Na Tabela 29, são mostrados os resultados das análises químicas de metais, bem como valores orientadores para metais tóxicos presentes na CONAMA 420 (Brasil, 2009b), limites máximos de contaminantes para substrato para plantas presentes no Anexo IV da

IN SDA 7 (Brasil, 2016a), limites máximos de contaminantes permitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solos presentes no Anexo V da IN SDA 7 (Brasil, 2016a) e limites de contaminantes permitidos em compostos orgânicos presentes na IN SDA 17 (Brasil, 2014).

Tabela 29 – Comparação entre os resultados do laudo da amostra sólida de RAVF com a CONAMA 420 (Brasil, 2009b), IN SDA 7 (Anexos IV e V) (Brasil, 2016a) e IN SDA 17 (Anexo VI) (Brasil, 2014) em relação a valores orientadores e contaminantes.

Elemento	RAVF (mg/kg)	CONAMA 420/2009 (mg/kg)		IN SDA (mg/kg)		
		Prevenção	Agrícola (APMax <sup>4</sup> )	7/2016 <sup>1</sup>	7/2016 <sup>2</sup>	17/2014 <sup>3</sup>
Cd	< 0,20	1,30	3,00	8,00	3,00	0,70
As	< 2,00	15,00	35,00	20,00	20,00	20,00
Ba	349,00	150,00	300,00	-	-	-
Pb	< 2,00	72,00	180,00	300,00	150,00	45,00
Cu	26,00	60,00	200,00	-	-	70,00
Se	< 4,00	5,00	-	80,00	80,00	80,00
Cr	38,00	75,00	150,00	500,00	-	70,00
Ni	88,00	30,00	70,00	175,00	70,00	25,00
Zn	63,00	300,00	450,00	-	-	200,00
Hg	0,04	0,50	12,00	2,50	1,00	0,40

1. limites máximos de contaminantes admitidos para substratos para plantas. 2. limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solos. 3. limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos. 4. Área de proteção máxima.

Fonte: O Autor (2021)

Observando-se os resultados da Tabela 29, verifica-se que os valores dos metais tóxicos Cd, As, Pb, Cu, Se, Cr, Zn e Hg presentes no RAVF, estão abaixo dos limites de prevenção em relação aos valores orientadores de qualidade do solo quando a presença de substâncias químicas da CONAMA 420 (Brasil, 2009b). Esta resolução foi utilizada, apenas como um parâmetro comparativo para a verificação da concentração destes metais presentes no RAVF. Observa-se também que estes valores não ultrapassam os limites máximos de contaminantes admitidos para substrato para plantas, fertilizantes orgânicos, condicionadores de solos e compostos orgânicos. Os metais tóxicos Ba e Ni ficaram com valores acima dos valores orientadores de prevenção e do cenário agrícola, de acordo com a CONAMA 420 (Brasil, 2009b). Cabe-se ressaltar que o metal Ba, não está quantificado em substratos para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solos. O metal tóxico Ni ficou dentro dos limites

máximos para substratos para plantas, no entanto ficou com valores acima do limite máximo de contaminantes para fertilizantes orgânicos, condicionadores de solos e compostos orgânicos.

Na Tabela 30 são mostrados os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados para o substrato comercial *Carolina Soil*®, com diferentes taxas (0-50%) adicionadas na composição dos substratos Tipos I e II. O laudo completo fornecido pelo LAS da UFRGS pode ser encontrado no Anexo C.

Tabela 30 - Parâmetros físico-químicos do substrato comercial

Parâmetro	Unidades	Substrato <i>Carolina Soil</i> ®	Padrão
pH*	-	6,1	5,0 – 6,5 <sup>a</sup>
Condutividade elétrica**	mS.cm <sup>-1</sup>	0,7	0,7-3,5 <sup>b</sup>
Densidade*	kg/m <sup>3</sup>	196	100-300 <sup>c</sup>
Espaço de aeração***	% (v/v)	38,91	30 - 40 <sup>d</sup>
Porosidade total***	% (v/v)	87,73	80 a 90 <sup>c</sup>
Capacidade de Retenção de Água**	% (v/v)	50%	25-70 <sup>e</sup>

a- Abreu M., Abreu, C. e Bataglia (2002); b- Cadahía e Eymar (1992); c- Kämpf (2005); d- Milner (2002); e- Abad *et al.* (1992). \*\*valores fornecidos pelo LAS da UFRGS \*\* especificações técnicas do fabricante \*\*\* valores fornecidos por Wieth, Pinheiro e Duarte (2019)

Fonte: O Autor (2021)

Os resultados apresentados para o substrato comercial, demonstram que todos os parâmetros estudados ficaram dentro da faixa ideal para o plantio das sementes da aveia preta.

#### 4.2.2 Análise química de fertilidade dos substratos Tipos I e II

Os parâmetros de estudo de fertilidade dos substratos formados com diferentes taxas de RAVF e substrato comercial, adicionadas a vermicomposto (substratos do Tipo I) e composto maturado (substratos do Tipo II), bem como os seus padrões de referência, são mostrados nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31 - Parâmetros de fertilidade dos substratos do Tipo I para os diferentes tratamentos

Parâmetros de Fertilidade	Unidades	Tratamentos						Padrão
		A	B	C	D	E	F	
Argila	% (m/m)	19,00	17,00	17,00	15,00	17,00	15,00	≤ 20,00 (textura arenosa) <sup>a</sup>
MO	% (m/m)	> 10,00	>10,00	7,50	6,10	5,90	5,80	> 5,00 (alto) <sup>a</sup>
pH H <sub>2</sub> O	-	5,90	6,60	7,60	8,00	8,10	8,30	< 5,50 (75% solos do Brasil) <sup>b</sup>
								= 5,50 (6% solos do Brasil) <sup>b</sup>
								> 5,50 (27% solos do Brasil) <sup>b</sup>
Al <sub>troc</sub> <sup>+3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,20 (muito baixo) <sup>c</sup>
Ca <sub>troc</sub> <sup>+2</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	10,80	6,10	14,10	12,70	13,00	12,80	> 4,00 (alto) <sup>a</sup>
Mg <sub>troc</sub> <sup>+2</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	5,40	12,90	10,70	9,50	8,10	6,00	> 1,00 (alto) <sup>a</sup>
H + Al	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,50	2,00	0,90	0,80	0,80	0,70	< 2.51 (valor baixo) <sup>c</sup>
CTC	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	18,30	24,50	29,30	26,70	25,50	22,90	15,10 – 30,00 (alto) <sup>a</sup>
T*	%	97,00	92,00	97,00	97,00	97,00	97,00	> 50% (eutrófico) <sup>d</sup>
P	mg/dm <sup>3</sup>	>100,00	>100,00	>100,00	>100,00	>100,00	>100,00	> 30.00 (muito alto) <sup>a</sup>
K	mg/dm <sup>3</sup>	>400,00	>400,00	>400,00	>400,00	>400,00	>400,00	> 120.00 (muito alto) <sup>a</sup>
S	mg/dm <sup>3</sup>	23,00	143,00	321,00	313,00	325,00	295,00	> 5.00 (alto) <sup>a</sup>
Zn	mg/dm <sup>3</sup>	12,00	9,20	12,00	15,00	11,00	10,00	> 0.50 (alto) <sup>a</sup>
Cu	mg/dm <sup>3</sup>	46,10	1,30	0,10	0,30	0,20	0,50	< 0,20 (baixo) <sup>a</sup>
								0,2-0,4 (médio) <sup>a</sup>
								> 0,40 (alto) <sup>a</sup>
B	mg/dm <sup>3</sup>	3,30	0,90	2,60	2,70	3,00	3,20	> 0,30 (alto) <sup>a</sup>
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	272,00	6,00	6,00	7,00	6,00	6,00	> 5,00 (alto) <sup>a</sup>

a- SBCS (2016); b- Mendes *et al.* (2019); c- Ribeiro *et al.* (1999); d-EMBRAPA (2018). Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.). T\* - Saturação da CTC por bases (%)

Fonte: O Autor (2023)

Em relação à textura e fertilidade (Tabela 31), verifica-se que todos os tratamentos (A-F) apresentaram textura arenosa e elevados teores de nutrientes (P, K, S, Zn, B e Mn). Em relação ao Cu os teores de nutrientes foram: baixo para o tratamento C, médios para os tratamentos D e E e altos para os tratamentos A, B e F. Devidos a estes resultados pode-se considerar os substratos do Tipo I, eutróficas, ou seja, férteis. Observa-se que as concentrações de Cu e Mn são bem menores nos substratos com RAVF (tratamentos B, C, D, E e F), estes resultados podem estar associados à  $\text{SiO}_2$  presente neste resíduo que diminuiu a biodisponibilidade de metais neste substrato (MATOS, GAMA e NETO, 2020).

Os teores mais elevados de MO foram encontrados com as taxas de 0-20% de RAVF adicionadas ao vermicomposto. De acordo com Raij (1981), na maioria dos solos naturais, os teores de MO dificilmente atingem 5%, nos substratos do Tipo I, como pode ser observado na Tabela 31, todos os tratamentos apresentaram alto teor de MO, com valores acima deste percentual.

O pH de todos os tratamentos propostos apresentou-se mais alcalino à medida que o percentual de RAVF aumentou. O teor elevado de nutrientes e a alta basicidade destes substratos, constitui-se em resultados importantes para uma possível utilização destes materiais produzidos, ainda que em taxas controladas, como corretivo para acidez de solos.

A acidez total (H+Al) encontrada, para todos os tratamentos, apresentou valores baixos. Em relação às formas catiônicas, verificou-se que apenas no tratamento A, com 10% de RAVF, foi encontrado o cátion ácido  $\text{Al}_{\text{tróc}}^{+3}$ , este valor é considerado muito baixo, os demais tratamentos não apresentaram acidez trocável presente nos substratos.

Os cátions básicos  $\text{Ca}_{\text{tróc}}^{+2}$  e  $\text{Mg}_{\text{tróc}}^{+2}$  apresentaram valores altos, estas condições são favoráveis para o fornecimento de nutrientes para as plantas. A CTC apresentou valores altos em todos os tratamentos, o maior valor encontrado foi no tratamento C, que apresenta 20% de RAVF.

Tabela 32 - Parâmetros de fertilidade dos substratos do Tipo II para os diferentes tratamentos

Parâmetros de Fertilidade	Unidades	Tratamentos						Padrão
		A	B	C	D	E	F	
Argila	% (m/m)	13,00	12,00	15,00	14,00	13,00	14,00	≤ 20,00 (textura arenosa) <sup>a</sup>
MO	% (m/m)	6,90	5,60	5,50	5,70	2,60	2,50	≤ 2,50 (baixo) <sup>a</sup>
								2,60 – 5,00 (médio) <sup>a</sup>
								> 5,00 (alto) <sup>a</sup>
pH H <sub>2</sub> O	-	7,40	7,40	7,70	7,80	7,90	8,00	< 5,50 (75% solos do Brasil) <sup>b</sup>
								= 5,50 (6% solos do Brasil) <sup>b</sup>
								> 5,50 (27% solos do Brasil) <sup>b</sup>
Al <sup>+3</sup> <sub>troc</sub>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,20 (muito baixo) <sup>c</sup>
Ca <sup>+2</sup> <sub>troc</sub>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	3,30	3,70	2,60	2,90	3,30	2,90	2,10 – 4,00 (médio) <sup>a</sup>
Mg <sup>+2</sup> <sub>troc</sub>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	5,60	4,80	3,30	3,10	2,90	2,00	> 1,00 (alto) <sup>a</sup>
H + Al	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	1,00	1,00	0,80	0,70	0,70	0,60	< 2,51 (valor baixo) <sup>c</sup>
CTC	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	12,54	12,11	9,37	9,30	8,54	7,97	7,60– 15,00 (médio) <sup>a</sup>
T*	%	92,03	91,74	91,46	92,47	91,80	92,47	> 50% (eutrófico) <sup>d</sup>
P	mg/dm <sup>3</sup>	>100	>100	>100	>100	52,70	82,70	> 30,00 (muito alto) <sup>a</sup>
K	mg/dm <sup>3</sup>	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 120,00 (muito alto) <sup>a</sup>
S	mg/dm <sup>3</sup>	22,83	20,71	22,72	22,26	11,10	13,11	> 5,00 (alto) <sup>a</sup>
Zn	mg/dm <sup>3</sup>	15,98	15,59	15,61	15,33	10,25	14,18	> 0,50 (alto) <sup>a</sup>
Cu	mg/dm <sup>3</sup>	54,47	50,60	55,85	53,78	23,37	33,97	> 0,40 (alto) <sup>a</sup>
B	mg/dm <sup>3</sup>	3,51	3,16	3,60	3,45	1,05	1,55	> 0,30 (alto) <sup>a</sup>
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	292,70	266,84	294,88	283,81	106,07	148,04	> 5,00 (alto) <sup>a</sup>

a- SBCS (2016); b- Mendes et al. (2019); c- Ribeiro et al. (1999); d- EMBRAPA (2018). Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.). T\* - Saturação da CTC por bases (%)

Fonte: O Autor (2023)

Observando-se a Tabela 32, verifica-se que todos os tratamentos (A-F) apresentaram textura arenosa, com elevados teores de nutrientes (P, K, S, Zn, Cu, B e Mn), sendo considerados, portanto, eutróficos, ou seja, férteis.

Os teores mais elevados de MO foram encontrados com as taxas de 10-30% de RAVF adicionadas ao composto. O pH de todos os tratamentos propostos apresentou-se mais alcalino à medida que o percentual de RAVF aumentou.

A acidez total (H+Al) encontrada, para todos os tratamentos, apresentou valores baixos, diminuindo à medida que se aumentou o percentual de RAVF. Em relação às formas catiônicas, verificou-se que não foi encontrado em nenhum tratamento o cátion ácido  $Al_{troc}^{+3}$ , não ocorrendo, portanto, acidez trocável presente nestes substratos.

Os cátions básicos  $Ca_{troc}^{+2}$  e  $Mg_{troc}^{+2}$  apresentaram valores médios e altos respectivamente, estas condições são favoráveis para o fornecimento de nutrientes para as plantas. A CTC apresentou valores médios e diminuiu à medida que se aumentou o percentual do RAVF.

#### 4.3 ETAPA III – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO, MATÉRIA SECA, DIMENSÕES E NUTRIENTES DA AVEIA PRETA

Nesta seção, serão analisadas as condições de cultivo da aveia preta nos substratos Tipos I e II. Em seguida, serão investigadas as concentrações de nutrientes, as dimensões e a MS obtidas dessa gramínea cultivada nesses substratos vegetais.

##### 4.3.1 Condições de cultivo da aveia preta nos substratos Tipos I e II

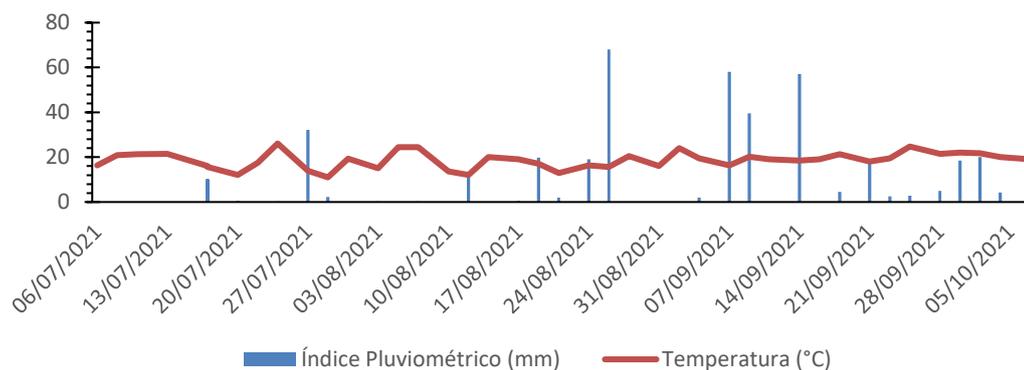
As condições de cultivo avaliadas para a aveia preta foram: precipitação, temperatura ambiente e as umidades dos substratos Tipos I e II contidos nas unidades experimentais mostradas na Figura 41. Estas medições ocorreram de forma automatizada e foram realizadas em bancada, na área externa do LEAmet.

###### 4.3.1.1 Precipitações acumuladas e temperatura ambiente

As medições de precipitação acumuladas e temperatura ambiente para os substratos Tipos I e II foram realizadas 3 vezes por semana com intervalos de tempo de 48h e 72h, os resultados obtidos são mostrados através dos climogramas das Figuras 58 e 59 respectivamente.

Estas medições ocorreram do dia 06/07/2021 até o dia 07/10/2021 para os substratos do Tipo I e do dia 08/07/2022 até o dia 18/10/2022 para os substratos do Tipo II.

Figura 58 – Climograma do experimento com aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I



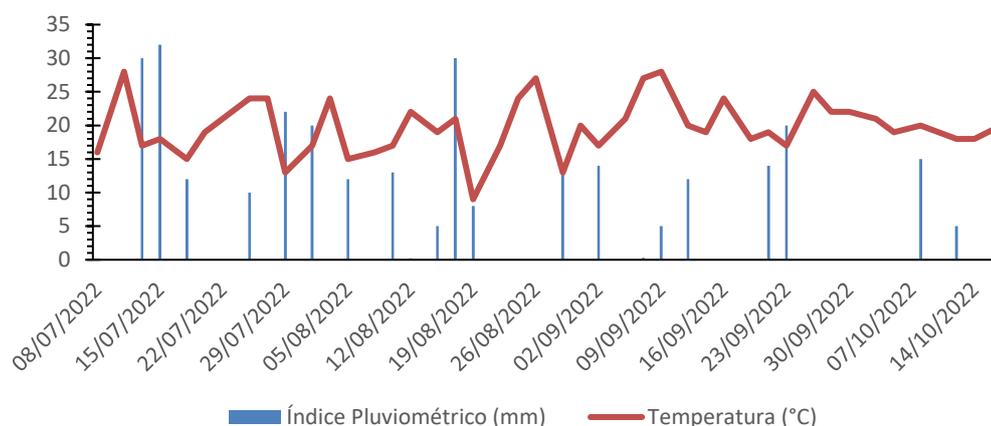
Fonte: O Autor (2021)

Avaliando-se o gráfico da figura 58, verifica-se, de acordo com EMBRAPA (2000), que durante todo o período de cultivo da aveia preta nos substratos do Tipo I, a temperatura favoreceu o seu crescimento, ou seja, ela foi menor do que 32°C, a maior temperatura atingida foi de 26,1°C. Segundo Amorim (2020), a faixa de temperatura ótima para a fotossíntese da aveia preta, é de 15°C à 25°C. Estes valores estiveram mais adequados no período de setembro a outubro onde foi observado o maior crescimento foliar médio da gramínea. Em relação aos valores de precipitação medidos no período de cultivo, consultando-se a Tabela 15, chegou-se às seguintes conclusões:

- Em julho houve predominância de dias secos com alguns dias de chuva moderada;
- Em agosto houve predominância de dias secos, com alguns dias de chuva moderada e forte;
- Em setembro houve predominância de dias chuvosos, com chuvas moderada e forte e alguns dias com chuva muito forte. Neste período houve um rápido crescimento médio foliar da aveia preta.
- Em outubro houve poucos dias de medição de pluviosidade, nestes dias avaliados verificou-se alternância entre dias secos, com chuva fraca e forte.

De acordo com os resultados encontrados verifica-se que a temperatura e o índice pluviométrico medido no período de cultivo da aveia preta para os diferentes tipos de substratos vegetais do Tipo I foram favoráveis ao seu crescimento.

Figura 59 – Climograma do experimento com aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II



Fonte: O Autor (2022)

Avaliando-se o gráfico da figura 59, verifica-se, de acordo com EMBRAPA (2000), que durante todo o período de cultivo da aveia preta nos substratos do Tipo II, a temperatura favoreceu o seu crescimento, ou seja, ela foi menor do que 32°C, a maior temperatura atingida foi de 28°C. A faixa de temperatura ótima (15-25°C) para a fotossíntese da aveia preta ocorreu praticamente em todo o período de cultivo da gramínea (AMORIM, 2020). Em relação aos valores de precipitação medidos no período de cultivo, consultando-se a Tabela 15, chegou-se à seguintes conclusões:

- Em julho houve alternância entre dias secos e com chuvas moderadas e fortes;
- Em agosto houve predominância de dias secos, com alguns dias de chuva moderada;
- Em setembro houve predominância de dias secos, com alguns dias com chuvas moderadas;
- Em outubro houve predominância foi de dias secos, este mês foi onde ocorreram os maiores crescimentos foliares médios da aveia preta.

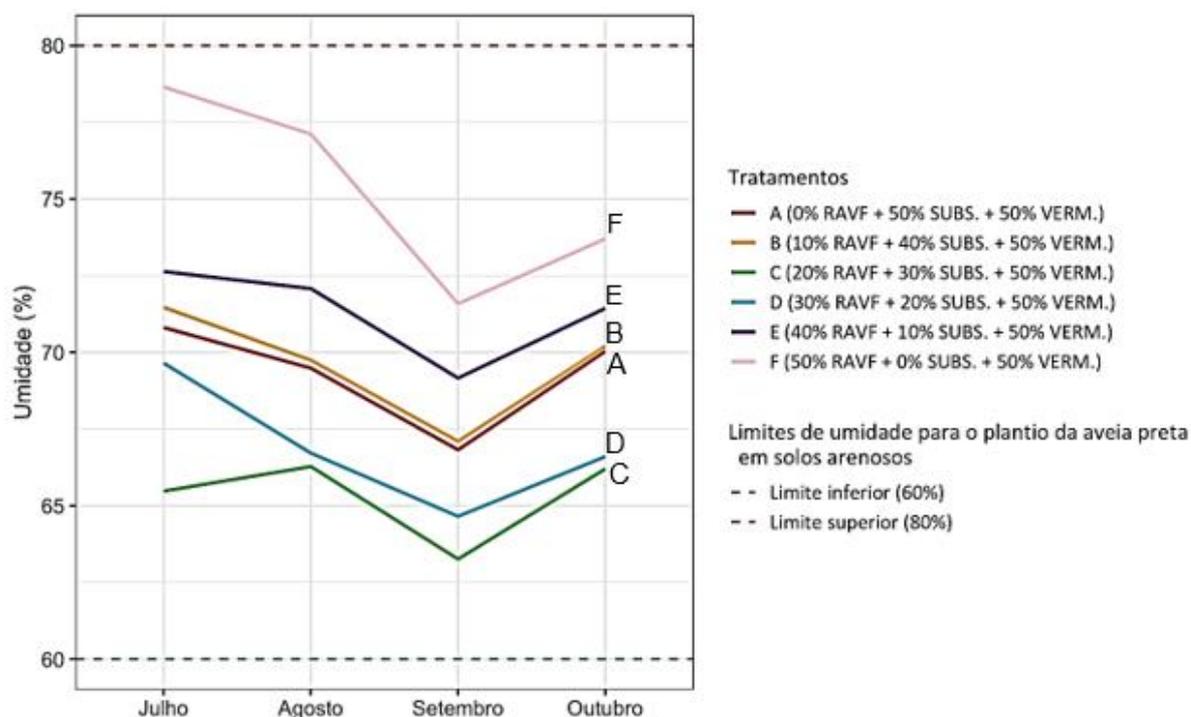
De acordo com os resultados encontrados verifica-se que a temperatura e o índice pluviométrico medido no período de cultivo da aveia preta para os diferentes tipos de substratos vegetais do Tipo II foram favoráveis ao seu crescimento.

#### 4.3.1.2 Umidade dos substratos Tipos I e II para os diferentes tratamentos ao longo do cultivo da aveia preta

Devido a textura arenosa dos substratos Tipos I e II, adotou-se os limites de umidade, de 60-80%, propostos por Cruz *et al.* (2013) como sendo adequadas para estes substratos

vegetais. Os dados coletados, pelo sensor de umidade de solo higrômetro YL-69 são mostrados nas Figuras 60 e 61.

Figura 60 – Umidades dos substratos do Tipo I ao longo do cultivo da aveia preta



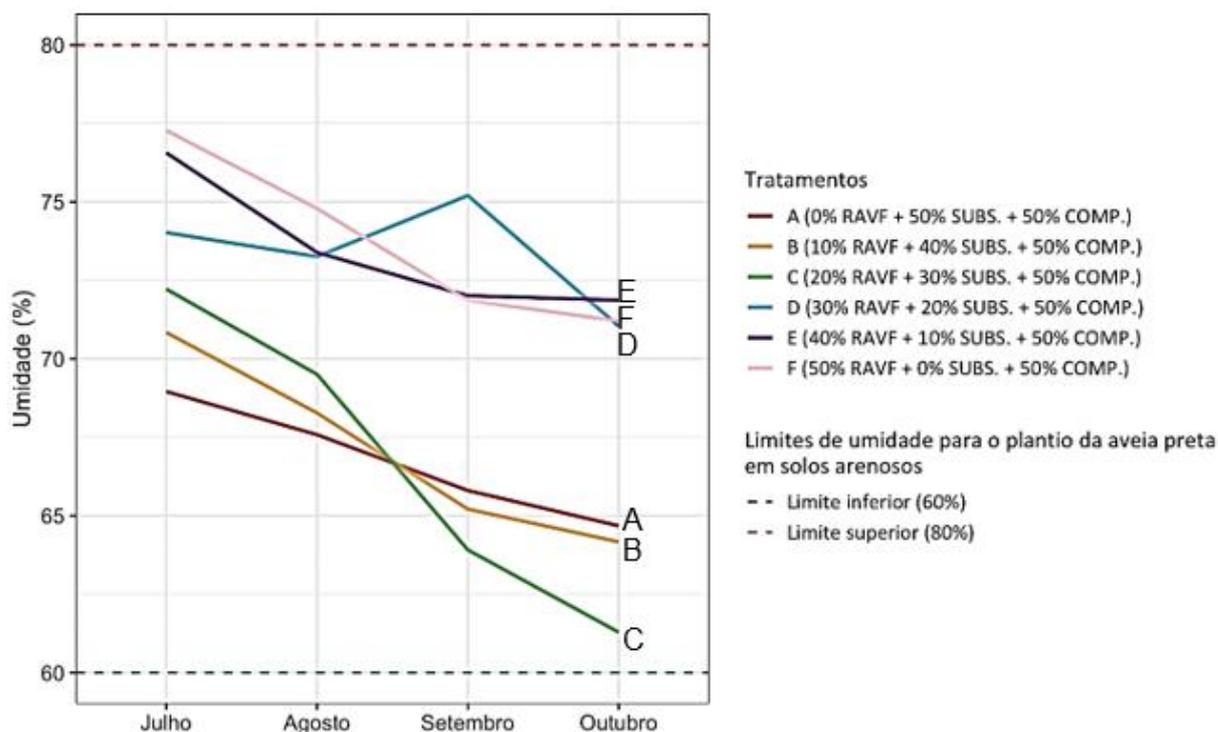
Fonte: O Autor (2021)

Avaliando-se o gráfico da Figura 60, verifica-se que a umidade dos substratos do Tipo I, foi mantida dentro do limite para o cultivo da aveia preta para todos os tratamentos. Para umidades abaixo de 60% foi adicionado água nos vasos, até que fosse atingido os limites estabelecidos. Observando-se este gráfico verifica-se que houve uma queda de umidade nos vasos do mês de agosto para setembro, neste período houve predominância de dias secos (Figura 58), o que justifica esta queda.

Os substratos dos tratamentos E e F que apresentam os maiores teores de RAVF (40% e 50% respectivamente) e os menores teores de substrato comercial (10% e 0% respectivamente), retiveram uma maior quantidade de água que os demais tratamentos, devido à uma menor porosidade do meio de cultivo. Através desta constatação verifica-se a importância do aditivo substrato comercial, na formação dos substratos Tipos I. Esta relevância deve-se a um maior o equilíbrio quanto à quantidade de água e aeração para o crescimento do tecido vegetal (foliar e radicular) da aveia preta.

O substrato do tratamento F (0% de substrato comercial e 50% de RAVF), apresentou-se a mais compacto de todos, por isso reteve mais água do que os demais tratamentos, este resultado interferiu na resistência mecânica à penetração da raiz da aveia preta neste substrato.

Figura 61 – Umidades dos substratos do Tipo II ao longo do cultivo da aveia preta



Fonte: O Autor (2022)

Avaliando-se o gráfico da Figura 61, verifica-se que a umidade dos substratos do Tipo II, para todos os tratamentos foi mantida dentro do limite para o cultivo da aveia preta. Observando-se este gráfico verifica-se que, em geral, houve uma queda de umidade nos vasos ao longo do tempo, devido aos dias serem mais secos do que chuvosos neste período de cultivo.

Os substratos dos tratamentos D, E e F que apresentam os maiores teores de RAVF (30%, 40% e 50% respectivamente) e os menores teores de substrato comercial (20%, 10% e 0% respectivamente) retiveram maior quantidade de água que os demais tratamentos.

O substrato do tratamento F (0% de substrato comercial e 50% RAVF), apesar de apresentar em alguns períodos menor teor de água que os tratamentos D e E, apresentou-se mais compacta que os demais tratamentos, encharcando em dias de maior precipitação, devido a sua menor porosidade, por não apresentar substrato comercial. É importante ressaltar que esta gramínea não tolera solos encharcados (EMBRAPA, 2000), portanto o substrato deste tratamento não é adequado para o cultivo da aveia preta.

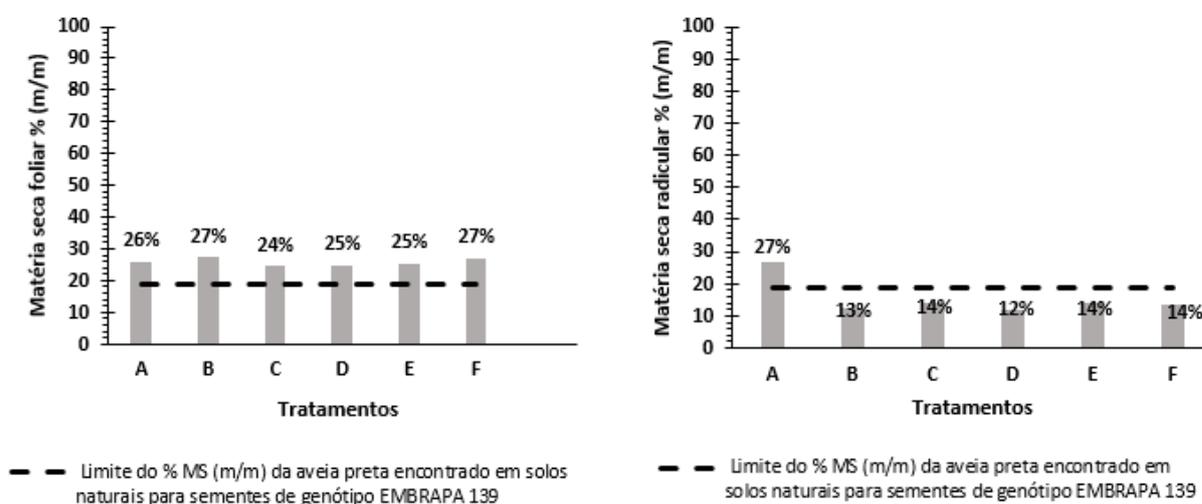
### 4.3.2 Análise de matéria seca, dimensões e nutrientes da aveia preta

Os resultados das análises químicas de MS e nutrientes do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II, serão discutidas nesta seção. Também foram avaliadas, estatisticamente, as suas dimensões lineares aplicando-se o teste de Tukey ( $p \leq 5\%$ ), ou seja, considerando-se como margem de segurança 5% de chances de erro, ou olhando por outro ângulo, 95% de chances de estar certo (nível de significância).

#### 4.3.2.1 Matéria seca

Os resultados, mostrados Figura 62 e 63, referem-se aos valores dos tratamentos (A, B, C, D e E) em função da concentração da MS, radicular e foliar, da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II.

Figura 62 - Matéria seca do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I



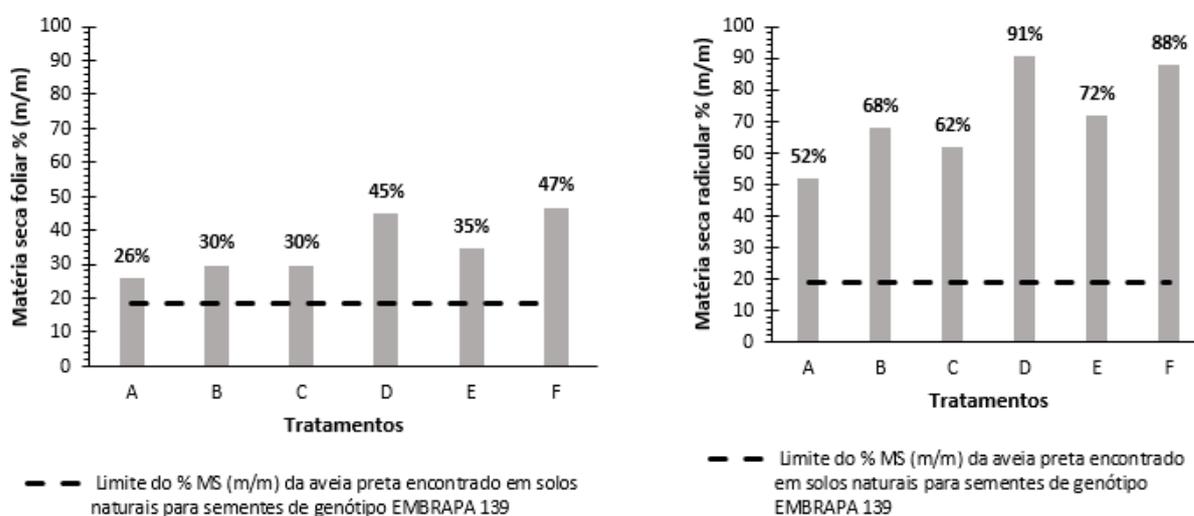
Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%VERM.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%VERM.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%VERM.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%VERM.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%VERM.) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%VERM.).

Fonte: O Autor (2022)

Observando-se a Figura 62 verifica-se que os percentuais de MS foliares, para todos os tratamentos que contém o RAVF, foram maiores que os radiculares. A análise de MS do tecido vegetal (foliar+ radicular) da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I, para todos os tratamentos, apresentaram valores maiores que o limite de 18,6 % (m/m), encontrado por Mazzoco (2019), para o mesmo genótipo cultivado em solos naturais. Este limite, está marcado

no gráfico da Figura 62 por uma linha tracejada. O tratamento A (branco), com 0% de RAVF e 50% de substrato comercial foi o que apresentou maior equilíbrio entre o percentual de MS radicular e foliar da aveia preta. Dos tratamentos que contém o RAVF, o tratamento B que contém 10% de RAVF, 40% de substrato comercial e 50% de vermicomposto foi o que apresentou maior percentual de MS em relação ao tecido vegetal (foliar + radicular) da aveia preta.

Figura 63 - Matéria seca do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II



Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP.) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP).

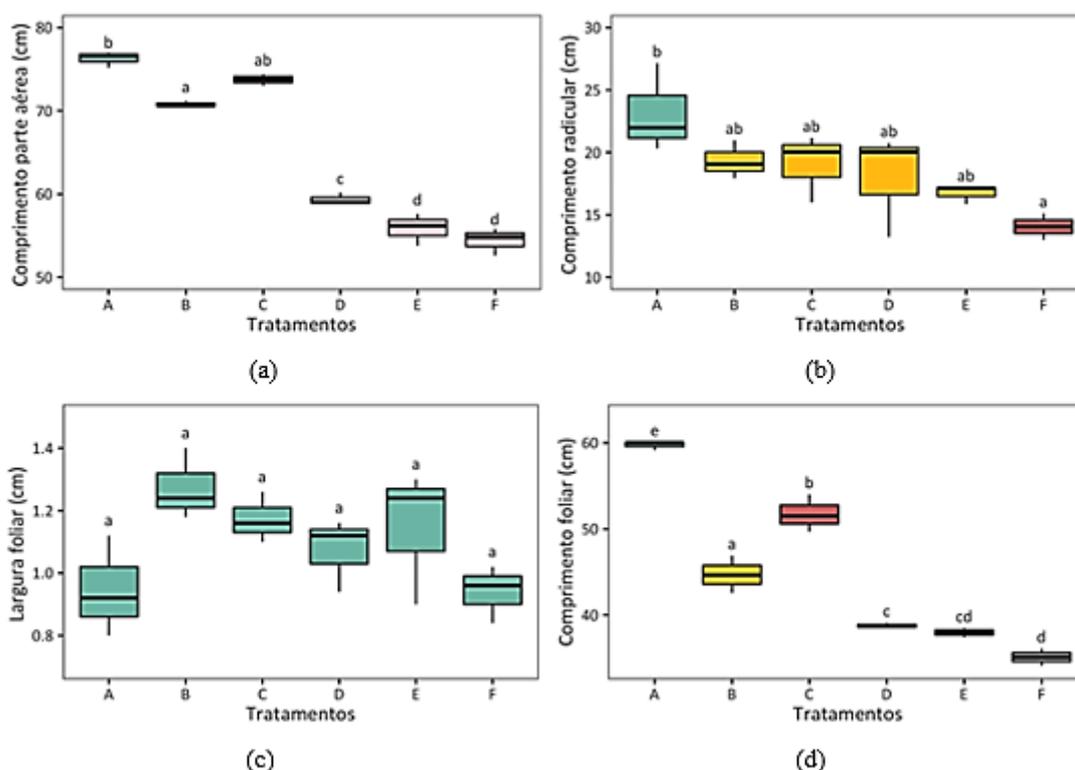
Fonte: O Autor (2022)

Observando-se a Figura 63, verifica-se que os percentuais de MS radiculares, em todos os tratamentos, foram maiores que os foliares. A análise de MS no tecido vegetal da aveia preta apresentou valores maiores que 18,6 % (m/m), encontrado por Mazzoco (2019), para o mesmo genótipo cultivado em solos naturais. Todos os tratamentos em que foram adicionados RAVF apresentaram maior MS que o tratamento A (branco), com 0% de RAVF. O tratamento D, com 30% de RAVF e o F, com 50% de RAVF, foram os que apresentaram o maior percentual de MS em relação ao tecido vegetal (foliar + radicular) da aveia preta.

#### 4.3.2.2 Dimensões lineares

As dimensões do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II avaliadas foram: comprimento da parte aérea, radicular e foliar, além da largura foliar.

Figura 64 - Comparação de médias (Tukey  $p \leq 5\%$ ) das dimensões da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I



Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%VERM.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%VERM.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%VERM.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%VERM.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%VERM.) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%VERM.).

Obs.: as letras a, b, c, d e e referem-se a diferenças significativas (letras diferentes) ou não (letras iguais) dentro de cada tratamento.

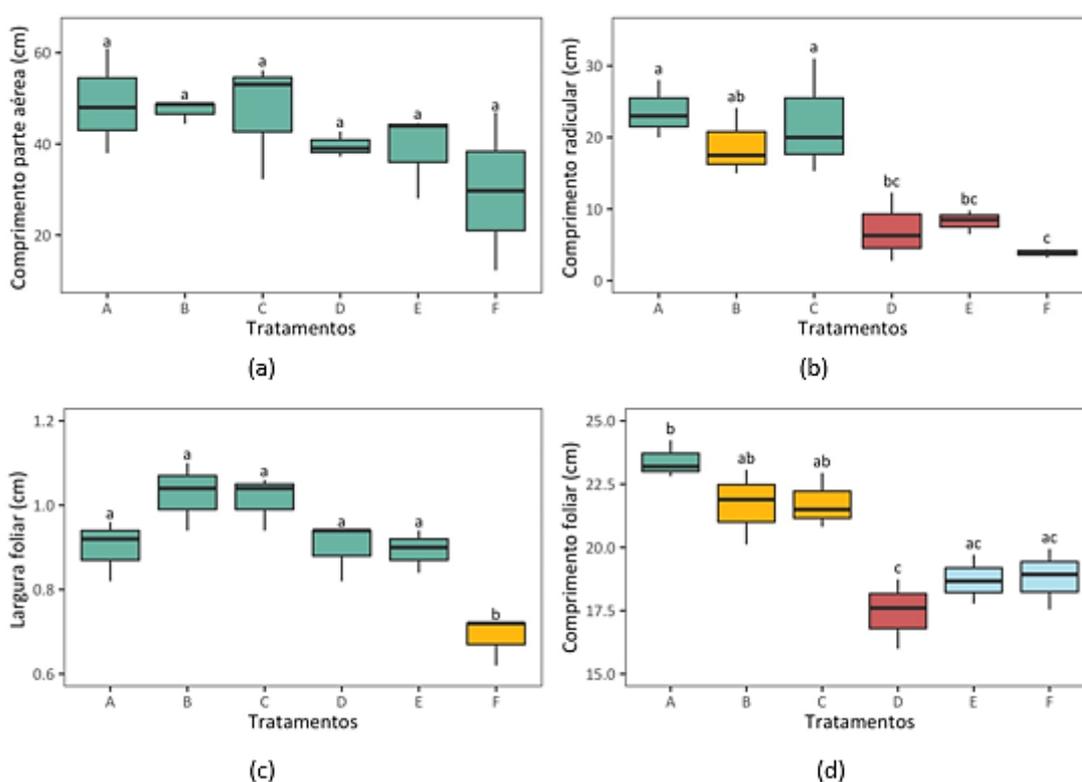
Fonte: O Autor (2023)

Avaliando-se a Figura 64a, observa-se que o comprimento da parte aérea da aveia preta ficou abaixo do valor padrão de 60 cm proposto por EMBRAPA (2000) para os tratamentos D, E e F, com respectivamente 30%, 40% e 50% de RAVF. Os comprimentos da parte aérea dos tratamentos E e F não apresentaram diferenças significativas. Os comprimentos radiculares mostrados na Figura 64b ficaram acima da faixa de valores, 0-10cm, encontrados por Souto *et al.* (1992), houve apenas diferença significativa entre o comprimento radicular dos

tratamentos A e F, com 0% de RAVF e 50% de RAVF respectivamente (Figura 64b). Nenhum tratamento apresentou diferenças significativas para as larguras foliares (Figura 64c) as quais ficaram dentro do padrão de 0,55-2,2 cm proposto por Floss (1998).

Os tratamentos A, B e C apresentaram os comprimentos foliares (Figura 64d), acima do padrão de 40 cm proposto por Floss (1998), não existindo diferenças significativas entre os comprimentos D e E, assim como entre os comprimentos E e F (Figura 64d). Os tratamentos D, E e F apresentaram percentuais abaixo do padrão para esta dimensão. Os tratamentos E e F, com 40% e 50% de RAVF, apresentaram as menores dimensões para aveia preta e não apresentaram diferenças significativas. O percentual de 10 a 20% de RAVF adicionados ao vermicomposto foram os que apresentaram os melhores resultados em relação às dimensões da aveia preta.

Figura 65 - Comparação de médias (Tukey  $p \leq 5\%$ ) das dimensões da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II (RAVF+SUBS. +COMP.)



Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP.) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP).

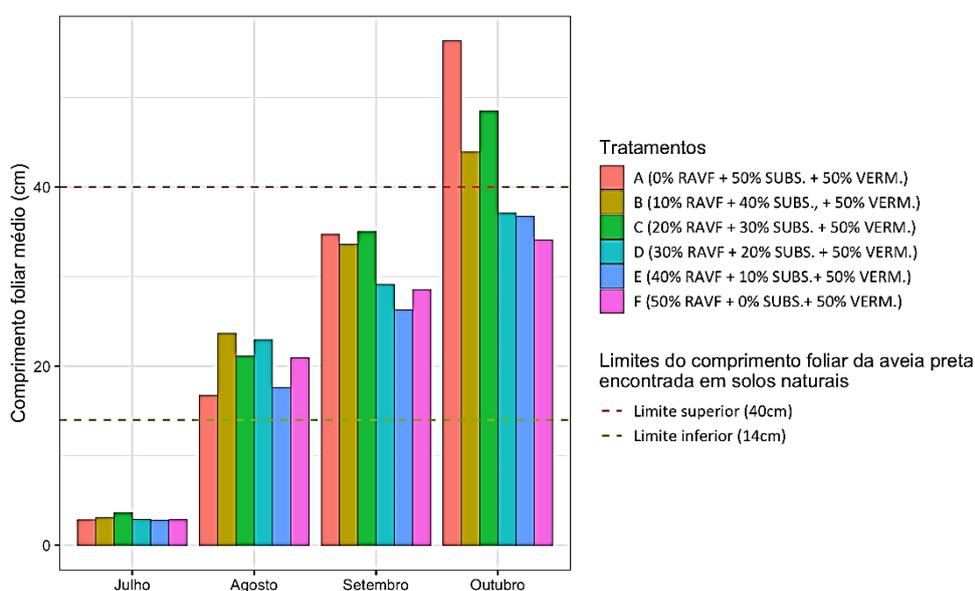
Fonte: O Autor (2023)

Avaliando-se a Figura 65a, observa-se que o comprimento da parte aérea da aveia preta ficou abaixo do valor padrão de 60 cm proposto por EMBRAPA (2000) em todos os tratamentos. Os diferentes percentuais de RAVF adicionados ao composto, não influenciaram nesta dimensão (valores seguidos pela mesma letra no teste de Tukey com  $p \leq 5\%$ ), o que se pode concluir que esta dimensão não foi atingida devido à qualidade do fertilizante orgânico.

Os tratamentos A, B e C não apresentaram diferenças significativas em relação ao comprimento radicular e (Figura 65b) e foliar (Figura 65d). Estes tratamentos apresentaram comprimentos radiculares acima da faixa de valores 0-10cm (Figura 64b) encontrados por Souto *et al.* (1992). O tratamento F com 50% de RAVF apresentou o menor comprimento radicular (Figura 65b), assim como a menor largura foliar em relação aos demais tratamentos (Figura 65c). Este tratamento foi o único que apresentou diferença significativa da largura foliar em relação aos demais tratamentos (Figura 65c). Os tratamentos D, E e F apresentaram os menores comprimentos foliares e não apresentaram diferenças significativas entre eles (Figura 65d). Os percentuais de 10 a 20% de RAVF adicionados ao composto foram os que apresentaram melhores resultados em relação às dimensões da aveia preta.

As medições do comprimento foliar médio, desde a germinação da aveia preta até o corte efetuado no final da sua fase reprodutiva, são mostrados nos gráficos das Figuras 66 e 67. Os limites inferiores e superiores para esta gramínea, proposto por Floss (1998) são representadas nestas figuras pelas linhas pontilhadas.

Figura 66 – Comprimento foliar médio da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I



Fonte: O Autor (2022)

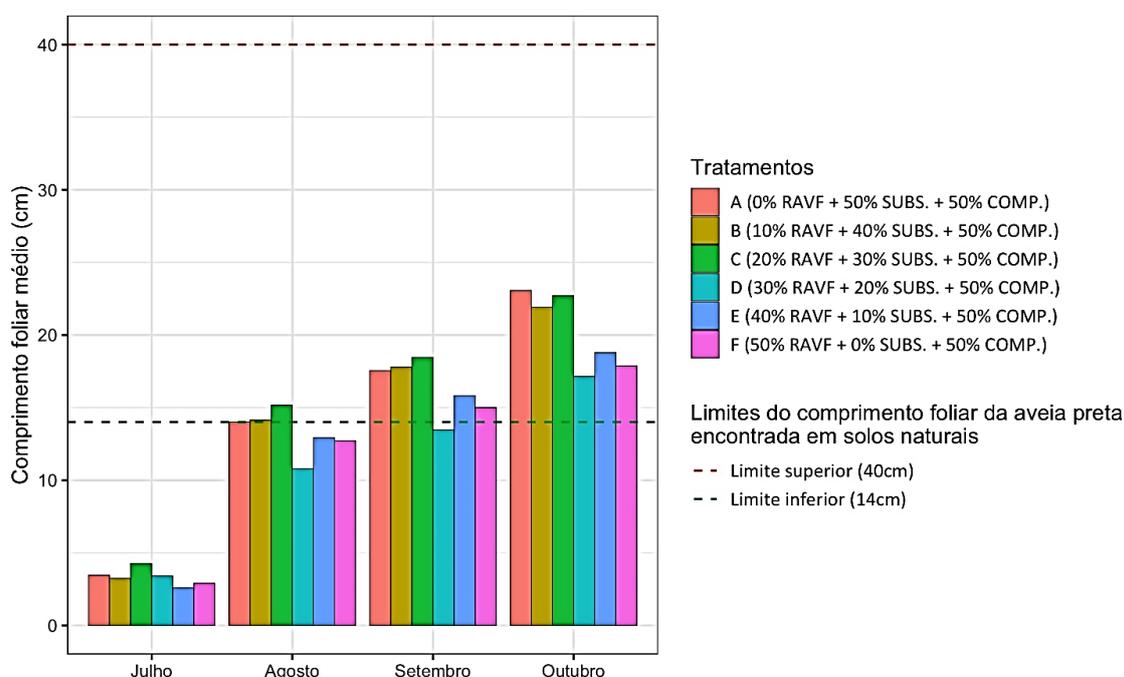
As medições do comprimento médio foliar da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I foram realizadas do dia 06/07/2021 até o dia 07/10/2021, ou seja, por um período de 97 dias. Verifica-se através do gráfico que o branco (tratamento A) com 0% de RAVF apresentou o maior comprimento foliar, seguido pelo tratamento C com 20% de RAVF, o que é confirmado através da análise estatística mostrada na Figura 64d.

Os comprimentos foliares médios dos tratamentos A, B e C ficaram com seus limites superiores acima de 40 cm e todos os tratamentos ficaram com os seus limites mínimos acima de 14cm.

As medições do comprimento médio foliar da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II foram realizadas do dia 08/07/2022 até o dia 18/10/2022, ou seja, por um período de 104 dias. Verifica-se através do gráfico da figura 67 que os tratamentos A, B e C com respectivamente 0% de RAVF, 10% RAVF e 20% RAVF apresentaram o maior comprimento foliar médio, sem diferenças significativas, o que pode ser confirmado através da análise estatística da Figura 65d.

Os comprimentos foliares médios de todos os tratamentos ficaram com seus limites superiores abaixo de 40 cm e com os seus limites mínimos acima de 14cm.

Figura 67 – Comprimento foliar médio da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II



Fonte: O Autor (2022)

### 4.3.2.3 Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta

Os nutrientes, minerais inorgânicos, do tecido vegetal da aveia preta, dos substratos Tipos I e II, são mostrados nas Tabelas 33 e 34.

Tabela 33 - Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I para os diferentes tratamentos

Nutrientes			Tratamentos						Padrão <sup>a</sup>	
			A	B	C	D	E	F		
Macronutrientes (g.kg <sup>-1</sup> )	N	Foliar	14,0	14,0	13,0	14,0	13,0	15,0	20,0-30,0	
		Radicular	14,0	20,0	10,0	11,0	11,0	17,0		
	P	Foliar	5,3	5,7	5,2	5,8	4,7	5,0	2,0 – 5,0	
		Radicular	2,2	2,1	2,7	2,1	2,1	2,0		
	K	Foliar	45,0	49,0	43,0	39,0	27,0	37,0	15,0 – 30,0	
		Radicular	10,0	9,1	8,6	5,6	6,2	5,6		
	Ca	Foliar	1,3	3,2	2,7	4,0	1,7	3,4	2,5-5,0	
		Radicular	6,5	5,3	41,0	78,0	120,0	80,0		
	Mg	Foliar	2,3	3,7	2,3	2,6	1,6	2,2	1,5 -5,0	
		Radicular	14,0	5,2	3,7	3,0	2,7	2,5		
	S	Foliar	2,2	2,2	2,2	2,2	1,8	1,9	1,5 - 4,0	
		Radicular	2,9	2,0	1,6	1,7	1,4	2,1		
	Micronutrientes (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu	Foliar	12,0	12,0	10,0	8,0	8,0	8,0	5,0 – 25,0
			Radicular	52,0	41,0	28,0	20,0	18,0	29,0	
Zn		Foliar	103,0	90,0	85,0	56,0	47,0	51,0	15,0 -70,0	
		Radicular	107,0	168,0	127,0	103,0	75,0	90,0		
Fe		Foliar	133,0	545,0	148,0	276,0	567,0	500,0	40,0 -50,0	
		Radicular	0,47 <sup>b</sup>	0,28 <sup>b</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>		
Mn		Foliar	142,0	160,0	58,0	112,0	150,0	127,0	25,0 -100,0	
		Radicular	272,0	130,0	164,0	177,0	148,0	162,0		
B		Foliar	7,0	8,0	5,0	6,0	5,0	7,0	5,0 – 20,0	
		Radicular	13,0	11,0	10,0	15,0	10,0	11,0		

a- SBCS (2016); b- % (m/m). Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%VERM.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%VERM.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%VERM.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%VERM.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%VERM.) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%VERM.).

Fonte: O Autor (2022)

Observando-se a Tabela 33, verifica-se que os macronutrientes primários N, P e K, predominantemente apresentaram maior concentração no tecido foliar. Com exceção do N dos tratamentos B e F com 10% e 50% de RAVF respectivamente. O macronutriente secundário S, da mesma forma que os macronutrientes primários apresentaram maior concentração no tecido foliar, com exceção dos tratamentos A e F com 0% e 50% de RAVF respectivamente que apresentaram maior concentração no tecido radicular. Os micronutrientes, com exceção do Mn, apresentaram maior concentração na parte radicular.

O tratamento B com 10% RAVF, foi o que forneceu a maior quantidade de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta, em relação aos demais. Este tratamento apresentou a maioria dos macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar da gramínea com concentrações acima do tratamento A que apresenta 0% RAVF. A concentração de Zn foliar do tratamento A foi maior que o tratamento B e o S e o Cu foliar apresentaram concentrações iguais.

Em relação aos nutrientes do tecido radicular, o tratamento B ficou com percentuais acima do branco apenas para os nutrientes N e Zn, no entanto, apenas o K radicular deste tratamento ficou com um valor abaixo do padrão para esta gramínea. O tratamento C e D, com 20% e 30% de RAVF respectivamente apresentaram a maioria dos seus nutrientes dentro do padrão. Os nutrientes N radicular e foliar, e K radicular ficaram abaixo do padrão para ambos os tratamentos.

Verifica-se que para todos os tratamentos o N ficou abaixo do padrão no tecido vegetal (foliar e radicular) da aveia preta, com exceção do N radicular do tratamento B. A falta deste nutriente está associada a pouca quantidade de espaços vazios observados nos substratos do Tipo I (material mais compacto), o que dificulta a aeração adequada necessária para fornecimento de oxigênio para as bactérias aeróbias fixadoras de N. Observou-se excesso de Mg radicular e Zn foliar e radicular, no tratamento A, que apresenta 0% de RAVF. De acordo com Matos, Gama e Neto (2020), o excesso deste nutriente pode causar desequilíbrio nutricional em uma planta. Este tratamento foi o que apresentou uma maior quantidade de nutrientes fora do padrão para a aveia preta.

Dos tratamentos com RAVF os tratamentos E e F, com 40% e 50% respectivamente deste resíduo, foram os que apresentaram uma maior quantidade de nutrientes com desequilíbrio nutricional para a aveia preta. Todos os tratamentos apresentaram excesso de Fe no tecido radicular da aveia preta, este fato pode ter causado uma baixa disponibilidade de N para o tecido foliar da aveia preta nestes substratos. Desta forma, em relação ao fornecimento de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I, os

tratamentos B, C e D com percentuais de 10-30% de RAVF foram os mais adequados quanto ao fornecimento de nutrientes para a aveia preta.

Tabela 34 - Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II para os diferentes tratamentos

Nutrientes			Tratamentos						Padrão <sup>a</sup>	
			A	B	C	D	E	F		
Macronutrientes (g.kg <sup>-1</sup> )	N	Foliar	22,0	25,0	20,0	21,0	20,0	20,0	20,0-30,0	
		Radicular	12,0	13,0	11,0	16,0	13,0	nta <sup>c</sup>		
	P	Foliar	2,6	3,3	2,5	2,8	2,1	2,5	2,0 – 5,0	
		Radicular	2,7	2,4	2,2	2,9	2,2	2,0		
	K	Foliar	42,0	76,0	39,0	62,0	37,0	38,0	15,0 – 30,0	
		Radicular	35,0	39,0	26,0	32,0	32,0	25,0		
	Ca	Foliar	0,7	1,9	1,4	1,1	0,7	1,3	2,5-5,0	
		Radicular	2,7	2,1	3,7	4,1	3,7	1,7		
	Mg	Foliar	1,5	2,3	1,0	1,4	0,8	0,9	1,5 -5,0	
		Radicular	3,4	2,5	2,3	2,4	1,5	1,5		
	S	Foliar	1,7	2,8	1,5	2,2	1,6	1,7	1,5 - 4,0	
		Radicular	2,6	2,8	2,0	2,7	2,3	2,3		
	Micronutrientes (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu	Foliar	5,0	7,0	5,0	6,0	5,0	6,0	5,0 – 25,0
			Radicular	11,0	9,0	11,0	15,0	10,0	11,0	
Zn		Foliar	58,0	80,0	52,0	63,0	36,0	45,0	15,0 -70,0	
		Radicular	123,0	132,0	117,0	125,0	83,0	102,0		
Fe		Foliar	81,0	156,0	95,0	198,0 <sup>b</sup>	105,0	214,0 <sup>b</sup>	40,0 -50,0	
		Radicular	644,0	740,0	894,0	1500,0	752,0	1300,0		
Mn		Foliar	16,0	28,0	27,0	31,0	23,0	28,0	25,0 -100,0	
		Radicular	38,0	29,0	47,0	64,0	37,0	44,0		
B		Foliar	9,0	14,0	14,0	17,0	15,0	20,0	5,0 – 20,0	
		Radicular	6,0	6,0	7,0	nta <sup>c</sup>	9,0	nta <sup>c</sup>		

a-SBCS (2016); b- % (m/m); c- nta - não tem amostra. Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.).

Fonte: O Autor (2023)

Observando-se a Tabela 34, verifica-se que os macronutrientes primários N, P e K, predominantemente apresentaram maior concentração no tecido foliar. Com exceção do P radicular dos tratamentos A, D e E com 0%, 30% e 40% de RAVF respectivamente. O macronutriente secundário S, apresentou maior concentração no tecido radicular, com exceção dos tratamentos B com 10% de RAVF que apresentou a mesma concentração do tecido foliar. Os micronutrientes, com exceção do B, apresentaram maior concentração na parte radicular.

O tratamento B com 10% RAVF, foi o que forneceu a maior quantidade de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta, em relação aos demais. Este tratamento apresentou macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar da gramínea com concentrações acima do tratamento A que apresenta 0%RAVF. Em relação ao tecido radicular, o tratamento B ficou com percentuais abaixo do branco para os nutrientes: P, Ca, Mg, Cu, Mn e B. No entanto, com exceção do Ca, todos estes nutrientes ficaram com concentrações dentro do padrão para esta gramínea.

O tratamento C, com 20% de RAVF apresentou a maioria dos seus nutrientes dentro do padrão, apenas o N radicular, o Ca e Mg foliar ficaram abaixo do padrão. O tratamento D, com 30% de RAVF, apesar de fornecer uma boa quantidade de nutrientes para a aveia preta, não apresentou biomassa radicular suficiente para a análise do nutriente B. Este tratamento apresentou também uma concentração de Fe radicular de  $1500 \text{ mg.kg}^{-1}$ , muito acima do padrão de  $40\text{-}50 \text{ mg.kg}^{-1}$  recomendado.

Os tratamentos E e F, com 40% e 50% de RAVF respectivamente, forneceram as menores quantidades de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta. O tratamento F apresentou biomassa radicular insuficiente para análise dos nutrientes N e B e uma concentração de Fe foliar de 198% (m/m), este valor é muito superior ao padrão. Desta forma, em relação ao fornecimento de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta, os percentuais de 10-20% de RAVF foram os mais adequados.

#### 3.4 ETAPA IV – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS PARA AS SUBSTRATOS TIPOS I E II

Nesta seção será realizado um estudo comparativo em relação à fertilidade, MS, dimensões e nutrientes da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I e II. O Quadro 5, apresenta os resultados obtidos de fertilidade retirados da Tabela 31 para os substratos do Tipo I e da Tabela 32 para os substratos do Tipo II.

Quadro 5 – Comparação entre os resultados de fertilidade dos substratos Tipos I e II

Parâmetros	Tipo I (RAVF+ SUBS. + VERM.)	Tipo II (RAVF+ SUBS. + COMP.)
% Argila	Textura arenosa	Textura arenosa
CTC	Valores altos	Valores médios
pH	Alcalino nos tratamentos C, D, E e F (20-50% RAVF)	Alcalino em todos os tratamentos (0-50% RAVF)
%MO	Teores mais elevados nos tratamentos B e C (10-20% RAVF)	Teores mais elevados em B, C e D (10-30% RAVF)
Acidez total (H+Al)	valores baixos	valores baixos
Acidez trocável ( $Al^{+3}$ )	Muito baixo no tratamento B (10% RAVF) e ausente nos demais tratamentos.	Ausente em todos os tratamentos
Cátions básicos ( $Ca_{troc}^{+2}$ e $Mg_{troc}^{+2}$ )	Valores altos	Valores médios
Saturação da CTC por bases (%T)	Eutróficos	Eutróficos

Fonte: O Autor (2024)

Comparando-se os resultados das análises químicas de fertilidade do Quadro 5, verifica-se que os substratos Tipo I com taxas de 10-20% de RAVF, por apresentarem alto teor de MO, são as mais adequadas para serem adicionadas ao vermicomposto. Para o composto maturado os teores mais elevados de MO foram encontrados nas taxas de 10-30% de RAVF sendo, portanto, estes percentuais mais adequados de fertilidade. Nestas taxas, os substratos Tipos I e II eutróficas (férteis) podem ser utilizadas como: corretivo para acidez de solos, composição de substratos, remediação de áreas degradadas (RAD) ou com baixo teor de húmus. Devido a melhor qualidade do fertilizante orgânico classe A, a CTC dos substratos do Tipo I apresentaram valores mais elevados (Tabela 31) que os substratos do Tipo I (Tabela 32). O Quadro 6, apresenta os resultados obtidos de MS, retirados da Figura 62 para os substratos do Tipo I e da Figura 63 para os substratos do Tipo II.

Quadro 6 – Comparação entre os resultados de matéria seca da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II

<b>Tipo I (RAVF+ SUBS. + VERM.)</b>	<b>Tipo II (RAVF+ SUBS. + COMP.)</b>
% MS foliar > MS radicular	% MS foliar < MS radicular
Tratamento B (10% RAVF) apresentou o maior % MS do tecido vegetal da aveia preta	Tratamento D (30% RAVF) apresentou o maior % MS do tecido vegetal da aveia preta
Tratamento A (0% RAVF) apresentou o maior % MS radicular em relação aos demais tratamentos com RAVF	Tratamento A (0% RAVF) apresentou o menor % MS radicular em relação aos demais tratamentos com RAVF
% MS foliar e radicular menores do que os substratos do Tipo II	% MS foliar e radicular maiores do que os substratos do Tipo I
% MS do tecido vegetal maior do que o padrão de referência adotado de 18,6%	% MS do tecido vegetal maior do que o padrão de referência adotado de 18,6%

Fonte: O Autor (2024)

Comparando-se os resultados das análises químicas, do Quadro 6, quanto a produção de MS, verifica-se que as taxas de 10% de RAVF, do tratamento B, são os que forneceram maior teor de MS quando adicionadas ao vermicomposto. Para o composto maturado os teores mais elevados de MS foram encontrados na taxa de 30% de RAVF, correspondente ao tratamento D.

A maior quantidade de espaços vazios nos substratos do Tipo II, devido a maior granulometria do composto maturado, fizeram com que as raízes da aveia preta absorvessem menos água e apresentassem maior teor de MS, que as substratos do Tipo I. Devido a maior porosidade dos substratos do Tipo II, ocorreu uma maior evaporação e lixiviação da água nestes meios, este déficit hídrico afetou o crescimento radicular, fazendo com que os tratamentos D, E e F, com 30% 40% e 50% de RAVF, não tivessem massa úmida suficiente para análise de alguns nutrientes, como mostra a Tabela 34. Ambos os tipos de substratos (I e II) apresentaram teores de MS maiores que 18,6% (m/m) encontrados por Mazzoco (2019) no tecido vegetal da aveia preta para o mesmo genótipo. Os teores de MS foliar e radicular para os substratos do Tipo II foram maiores que as do Tipo I. Este fato se deve, principalmente, aos fertilizantes orgânicos adicionados aos substratos. O Quadro 7, apresenta os resultados obtidos em relação às dimensões lineares da aveia preta para os substratos Tipos I e II.

Quadro 7 – Comparação entre os resultados das dimensões da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II

<b>Dimensão</b>	<b>Padrão</b>	<b>Tipo I (RAVF+ SUBS. + VERM.)</b>	<b>Tipo II (RAVF+ SUBS. + COMP.)</b>
Comprimento da parte aérea	> 60 cm	Acima do padrão nos tratamentos B e C (10-20% RAVF)	Abaixo do padrão em todos os tratamentos (0-50% RAVF)
Comprimentos foliares	14-40cm	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão. Os tratamentos B e C (10-20% RAVF) ficaram com comprimentos acima de 40 cm	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão e com comprimentos abaixo de 40 cm. Maiores comprimentos para os tratamentos B e C (10-20% RAVF)
Larguras foliares	0,55-2,2 cm	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão e abaixo de 2,2 cm, não ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão e abaixo de 2,2 cm. Apenas o tratamento F (50% RAVF) com diferença significativa (menor valor) em relação aos demais tratamentos
Comprimento radicular	0-20 cm	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão. Ocorreu apenas diferenças significativas entre o comprimento radicular do tratamento F (50% RAVF) em relação aos demais tratamentos.	Todos tratamentos ficaram dentro do padrão. Maiores comprimentos radiculares encontrados nos tratamentos B e C (10-20% RAVF)

Fonte: O Autor (2024)

Observando-se o Quadro 7, a Figuras 64a e a Figura 65a, verifica-se que todas os comprimentos da parte aérea e foliares foram maiores para os substratos do Tipo I.

Tanto para os substratos Tipos I e II não houve diferenças significativas entre os tratamentos para as larguras foliares.

Os comprimentos radiculares para os tratamentos A, B e C, com respectivamente 0%, 10% e 20% de RAVF foram maiores para os substratos do Tipo I e II.

Os comprimentos foliares para os substratos do Tipo I e II, foram maiores para os tratamentos A, B e C. Para os substratos do Tipo I houve diferenças significativas entre estes tratamentos e para os substratos do Tipo II não houve diferenças significativas.

O percentual de 10 a 20% de RAVF adicionados aos biofertilizantes classes A e B, foram os que apresentaram os melhores resultados em relação às dimensões da aveia preta para os substratos do Tipo I e II.

O Quadro 8, apresenta os resultados obtidos em relação aos nutrientes da aveia preta, retirados da Tabela 33 para os substratos do Tipo I e da Tabela 34 para os substratos do Tipo II.

Quadro 8 – Comparação entre os resultados dos nutrientes da aveia preta cultivada nos substratos Tipos I e II

<b>Tipo I (RAVF+ SUBS. + VERM.)</b>	<b>Tipo II (RAVF+ SUBS. + COMP.)</b>
O macronutrientes N, P, K e S apresentaram maior concentração no tecido foliar	O macronutrientes N, P, K e o micronutriente B apresentaram maior concentração no tecido foliar
os micronutrientes Cu, Zn, Fe, Mn e B e os macronutrientes Ca e Mg apresentaram maior concentração no tecido radicular	os micronutrientes Cu, Zn, Fe, Mn e os macronutrientes S, Ca e Mg apresentaram maior concentração no tecido radicular
Os tratamentos B, C, D com percentuais de 10-30% RAVF respectivamente foram os mais adequados quanto ao fornecimento de nutrientes para a aveia preta	Os tratamentos B e C com percentuais de 10-20% RAVF respectivamente foram os mais adequados quanto ao fornecimento de nutrientes para a aveia preta

Fonte: O Autor (2024)

Observando-se o Quadro 8, que apresenta os resultados encontrados dos nutrientes do tecido vegetal da aveia preta para os substratos Tipos I e II, verifica-se que os macronutrientes primários N, P, e K apresentaram maior concentração no tecido foliar.

Os macronutrientes secundários Ca e Mg apresentaram maior concentração no tecido radicular para os substratos Tipos I e II. De acordo com Matos, Gama e Neto (2020), estes nutrientes apresentam respectivamente mobilidade baixa e intermediária no tecido vegetal de plantas. O macronutriente secundário S apresentou maior concentração no tecido foliar para os substratos do Tipo I e no tecido radicular para os substratos do Tipo II.

Os micronutrientes Cu, Zn, Fe, Mn apresentaram maior concentração no tecido radicular para os substratos do Tipo I e II. O boro apresentou maior concentração de nutrientes no tecido

radicular para os substratos do Tipo I e no tecido foliar para os substratos do Tipo II. De acordo com Marschner (1995) de uma maneira geral os micronutrientes apresentam maior concentrações nas raízes do que nas folhas.

Os tratamentos B, C e D com percentuais de 10-30% (m/m) de RAVF respectivamente foram os mais adequados quanto ao fornecimento de nutrientes para a aveia preta substratos do Tipo I e os tratamentos B e C com percentuais de 10-20% (m/m) de RAVF foram os mais adequados quanto ao fornecimento de nutrientes para a aveia preta para os substratos do Tipo II.

## 5. CONCLUSÕES

Neste capítulo serão abordadas as considerações finais, por meio das discussões dos objetivos propostos e dos resultados obtidos por meio da metodologia aplicada, também serão fornecidas sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente serão discutidos os objetivos específicos deste trabalho e ao final das conclusões será respondido o objetivo geral.

Quanto ao processo e a obtenção do fertilizante orgânicos vermicomposto (classe A) e composto maturado (classe B) com qualidade para a agricultura verificou-se que:

O processo de vermicompostagem se desenvolveu bem dentro das caixas, não ocorrendo geração de odores e não permitindo o desenvolvimento de vetores. Os furos nas caixas permitiram que as minhocas transitassem entre elas. As garantias de qualidade N, C e relação C/N foram atingidas para este fertilizante orgânico. De acordo com IN SDA 61 (Brasil, 2020a), o pH=5,7 ficou próximo ao padrão de pH=6,0, a umidade de 83% ficou acima do padrão de 50%. Esta alta umidade pode ser explicada pelo fato do processo ter sido realizado em um local aberto de um condomínio e os RSO segregados na fonte possuem um alto teor de umidade. A soma NPK > 5% garantiu a faixa de suficiência de nutrientes deste fertilizante orgânico, no entanto, o teor de Cu encontrado de 89 mg/kg ficou acima do padrão de 70 mg/kg admitido para compostos. Devido as altas concentrações dos nutrientes N, P, K, B, Cu, Fe, Mn e Zn do vermicomposto, sugere-se adicionar um aditivo, com SiO<sub>2</sub> para o fornecimento de uma quantidade mais equilibrada de nutrientes para as plantas. Para este trabalho observou-se que os aditivos, RAVF e substrato comercial, diminuíram a concentração de alguns metais do vermicomposto, a exemplo do Cu que possui 89 mg/kg no vermicomposto (Tabela 27) e 1,3 mg/kg, 0,1 mg/kg, 0,3 mg/kg, 0,2 mg/kg e 0,5 mg/kg nos tratamentos de B a F (10-50%RAVF) conforme mostra a Tabela 31. Apenas a adição de substrato comercial já diminui a concentração deste metal tóxico a um nível aceitável para o vermicomposto, neste caso a concentração encontrada com 0% de RAVF e 50% de substrato comercial foi de 46,1 mg/kg (Tabela 31). Observa-se que, para ambos substratos (Tipos I e II), os aditivos foram úteis como corretivo para os metais contaminantes dos fertilizantes orgânicos.

O processo de compostagem com sistema automatizado de controle de temperatura, umidade e taxa de aeração, realizado na bombona de PEAD, teve a duração de 91 dias e ocorreu

predominantemente na fase mesófila. A fase termófila ocorreu por um período de 5 dias, e a maior temperatura encontrada nesta fase foi de 54°C (Figura 55). O sistema liga-desliga do relé, que controlou a vazão de ar de 14 L/s do soprador, na MO da bombona, operou 30min desligado e 10min ligado equivalente a 36 ciclos/dia. A taxa de aeração mostrou-se eficiente no valor de 1,1 L/kg.min, com redução de 93% (m/m) do material compostado. Os sensores de temperatura DHT22 e de umidade de solo SEN0193 inseridos no protótipo operaram de modo satisfatório ao longo do processo de compostagem. Amostras da MO coletadas, para análise da umidade em laboratório, no início, após um mês e quinzenalmente até a maturação do produto final, apresentaram valores semelhantes à leitura *online* dos sensores SEN0193 (Tabela 25).

Não foram encontrados os metais tóxicos As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Co e Ni no composto. A concentração do metal tóxico Zn encontrada foi de 74,8 mg/kg, este valor está abaixo do padrão de 200 mg/kg proposto na IN SDA 17 (Brasil, 2014). Apesar da temperatura e tempo de higienização não serem atingidos neste processo, verificou-se através das análises bacteriológicas que não foram encontrados coliformes termotolerantes e *Salmonella sp*, garantindo a sanitização do produto quanto a estes microrganismos.

Desta forma verifica-se que o monitoramento automatizado da temperatura e umidade contribuíram para o controle da aeração, para rega ao longo do processo e na obtenção de um fertilizante orgânico classe B com qualidade garantida para a agricultura de acordo com a IN SDA 61 (BRASIL, 2020a). A compostagem com aeração forçada e com monitoramento automatizado de aeração, umidade e temperatura é uma alternativa interessante para locais que geram uma pequena quantidade de RSO, como restaurantes universitários.

Quanto à avaliação das taxas de RAVF, que garantam maior fertilidade, a serem adicionadas aos fertilizantes orgânicos (vermicomposto e composto maturado) e substrato comercial verificou-se que:

As taxas de 10-20% (m/m) de RAVF, por apresentarem alto teor de MO, são as mais adequadas para serem adicionadas ao vermicomposto. Para o composto maturado os teores mais elevados de MO foram encontrados nas taxas de 10-30% (m/m) de RAVF sendo, portanto, estes percentuais mais adequados em relação à fertilidade dos substratos. Nestas taxas, os substratos do Tipo I e II são eutróficos (férteis) e podem ser utilizadas como: corretivo para acidez de solos, composição de substratos, RAD ou com baixo teor de húmus. Os substratos do Tipo I por apresentarem o vermicomposto constituído de RSO, segregado na fonte (fertilizante orgânico classe A), altos teores de MO e CTC alta, apresentaram maior fertilidade e capacidade de ceder nutrientes que os substratos do Tipo II, constituídas de RSO segregado do RSU (fertilizante orgânico classe B).

Quanto à avaliação das taxas de RAVF, adicionadas aos substratos o Tipo I e II, que garantam o fornecimento mais adequado de nutrientes, dimensões e MS para a *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta), verificou-se que:

Avaliar as dimensões de uma planta são úteis para acompanhar o seu crescimento. Apreçar as interações entre plantas e os ambientes em que são cultivadas, fornecem informações mais detalhadas do que simplesmente a produção final de MS. As melhores dimensões para aveia preta foram atingidas com percentuais de 10-20% (m/m) de RAVF adicionadas aos substratos Tipos I e II.

Quanto à produção de MS, verifica-se que as taxas de 10% (m/m) de RAVF são as que apresentaram maiores teores quando adicionadas ao vermicomposto. Para o composto maturado os teores mais elevados de MS foram encontrados na taxa de 30% (m/m) de RAVF. Os valores do % (m/m) da MS foliar, para todos os tratamentos dos substratos do Tipo I, foram semelhantes ao branco (0% RAVF), já para o tecido radicular foram menores. Os valores do % (m/m) da MS (foliar e radicular) foram maiores, em todos os tratamentos, dos substratos do Tipo II em relação ao branco.

Os resultados obtidos através da análise dos nutrientes do tecido vegetal da aveia preta, mostraram que as taxas de 10-20% (m/m) de RAVF adicionadas aos substratos Tipos I e II, forneceram uma maior quantidade de nutrientes para as raízes e folhas desta gramínea.

Desta forma respondendo à pergunta do objetivo geral quanto a viabilidade técnica e ambiental de utilização destes substratos verifica-se que:

Os resultados indicam que há o potencial para utilização dos substratos Tipos I e II na agricultura, no caso específico para o cultivo da aveia preta, nas taxas de 10-20% (m/m) de RAVF ou como corretivo para a acidez de solos e disposição em áreas de baixo húmus na taxa 10-20% (m/m) de RAVF para os substratos do Tipo I e de 10-30% (m/m) para as do Tipo II, devido à elevada quantidade de MO e pH alcalino presentes nestes percentuais.

Assim, este estudo, além de demonstrar viabilidade técnica, verificada através das análises químicas, apresenta também viabilidade ambiental, ainda que em taxas controladas, para a aplicação do RAVF em compostos, substratos e na agricultura para o plantio da aveia preta. Esta pesquisa atende as prioridades da PNRS (Brasil, 2010) através da compostagem do RSO e do reúso externo do RAVF, não enviando-os para aterros, diminuindo, desta forma, passivos ambientais e custos para as indústrias metalúrgicas e municípios.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta pesquisa, teve as seguintes limitações: a utilização de um pequeno volume de RSO segregados de diferentes formas, utilizados para a geração de fertilizantes orgânicos em caixas colocadas em um condomínio (vermicomposto) e em um bombona de PEAD com sistema automatizado (composto), a formação de substratos com diferentes taxas de RAVF, adicionadas a estes fertilizantes orgânicos e a diferentes taxas de substrato comercial e o plantio de uma única espécie vegetal a *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta) nestas substratos, sugere-se para trabalhos futuros:

- a) desenvolver estudos de viabilidade econômica para locais que gerem uma maior quantidade de RSO como, por exemplo, a realização da vermicompostagem em um conjunto maior de condomínios e a da compostagem, com controle automatizado da temperatura, umidade e taxa de aeração, em usinas levando-se em conta os seguintes fatores: custos com materiais, logística de transporte, recursos humanos, qualidade do produto e economia energética;
- b) avaliar a aplicação dos substratos Tipos I e II, nas taxas otimizadas de RAVF, em hortas, jardins, como corretivo da acidez de solos, proteção de taludes de pedreiras, para remediação de áreas contaminadas, com metais ou para RAD, podendo formar um antropossolo;
- c) avaliar a viabilidade técnica e ambiental para o plantio de diferentes espécies vegetais nestes substratos com diferentes taxas de RAVF, verificando-se as suas condições nutricionais, de modo a serem consumidas, sem riscos à saúde humana ou animal, ou que possam ser utilizadas para adubação verde;
- d) realizar diferentes substratos com RAVF, substituindo o aditivo substrato comercial, por outro tipo, de menor custo, como por exemplo: fibra de côco, palha de arroz, cinza de carvão vegetal, etc., é importante que estes aditivos substituíveis mantenham a sua funcionalidade de: dar sustentação para as raízes das plantas; nutrição para as suas mudas, aeração e retenção de água a níveis adequados para os diferentes meios de cultura;
- e) realizar estudos comparativos de viabilidade econômica, levando-se em conta os custos envolvidos para a preparação destes substratos com diferentes taxas de RAVF e a sua logística de transporte e disposição, deste resíduo, em aterros industriais Classe II-A.

## REFERÊNCIAS

- ABAD, M.; MARTINEZ, M.D; MARTINEZ, P.F; MARTINEZ, J. Evaluación Agronômica de Los Substratos de Cultivo. **Actas de Horticultura**, v.11, p.141-154, 1992.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. ABRELPE, São Paulo, SP, Brasil, 2022, 64p. Acesso em: 05 ago.2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>
- ABREU, M.F de; ABREU, C.A. de; BATAGLIA, O.C. **Uso da Análise Química na Avaliação da Qualidade de Substratos e Componentes**. In: Encontro Nacional de Substratos para Plantas, 3.,2002, Campinas: **Anais [...]** São Paulo: IAC, 2002. p.17-28.
- ADEGAS, R, G. **Perfil Ambiental dos Processos de Fundição que utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul**. 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, 2007.
- ALFAIA, R.G. DE S.M., COSTA, A.M., CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v.35, n.12, p. 1195-1209, 2017.
- AMORIM, A. **Morfologia e Fisiologia de Plantas Forrageiras**. Faculdade Roraimense de Ensino Superior – Curso de Agronomia – Forragicultura e Nutrição Animal, 2020. 85p. Apostila. Disponível em :<<https://pt.slideshare.net/slideshow/apostila-forragicultura/32416180>> Acesso em: 28 abr.2020.
- AQUINO, A.M. **Utilização de Minhocas na Estabilização de Resíduos Orgânicos: Vermicompostagem**. Brasília, DF: EMBRAPA, Circular técnica n.8, 1992. 6p.
- AQUINO, A.M. **Vermicompostagem**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, Circular técnica n.29, 2009. 6p.
- ARTICO, M. **Recuperação de áreas degradadas através do uso integrado de lodo de esgoto e rejeito de mineração de basalto como substituto ao solo de cobertura**. 2018. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. **Anuário ABIFA 2020**. São Paulo, 2020.152p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13591: Compostagem**. Rio de Janeiro, 1996. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos-Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: 2004b. 25p.

BACCHI, O.O.S.; GODOY, R.; FANTE, Jr.; L., REICHART, K. Balanço Hídrico em Cultura de Aveia Forrageira de Inverno na Região de São Carlos, SP. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, n.1, p.172-178, 1996.

BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424p.

BASTIAN, K. C.; ALLEMAN, J. E. Microtox™ Characterization of Foundry Sand Residuals. **Waste Management**, v. 18, n. 4, p. 227-234, 1998.

BHIMANI, D.R.; PITRODA, J.; BHAVSAR, J.J. A Study of Foundry Sand: Opportunities for Sustainable and Economical Concrete. **Global Research Analyses**, Gujarat-India, v.2, p.60-63, jan.2013.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos, São Paulo: EESC – USP, 1999

BLASER, R.E.; NOVAES, L. P. **Manejo do complexo pastagem animal para avaliação de plantas e desenvolvimento de sistemas de produção de forragens**. In.: PASTAGENS, 1990, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: SBZ: FEALQ, 1990. p. 157-205.

BOMBONA, G.A.; ASSAD FILHO, N.; COELHO, T.M. Produção de Moldes de Fundição do Alumínio. **Gestão da Produção em Foco**, Belo Horizonte, v.18, p.199-204, 2018.

BONET, I.I. **Valorização do Resíduo de Areia de Fundição (R.A.F.): Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo C.B.U.Q.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BRAGA, G.N.M. **Argila e Matéria Orgânica na Análise do Solo**. In: Blog Na Sala com Gismonti: Assuntos sobre Agronomia. Pelotas-RS, 21 jun. 2012. Disponível em: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2012/06/argila-e-materia-organica-na-analise-do.html>> Acesso em: 05 de ago.2021.

BRAGA, J. M. **Avaliação da Fertilidade do Solo (Ensaio de Campo)**. Viçosa: UFV, 1983. 101p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n. 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e fertilizantes orgânicos destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 jul. 2009a.

BRASIL. Resolução CONAMA n.420, de 28 de dezembro de 2009b. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009b.

BRASIL. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010a.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº12.305, 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 dez. 2010b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Indústria de Fundação: Situação Atual e Perspectivas**. Brasília: BNDES, 2010c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n.17, de 18 de junho de 2014. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção, bem como as listas de substâncias e práticas permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 junho de 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Guia para Compostagem**. Coberta, Sem Odores, Sem Líquidos, Rápida. Orientação para o Aproveitamento de Resíduos Orgânicos em Sistemas de Pequeno e Médio Porte. Brasília-DF, 2015. 56p. Disponível em: <<https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/compostagem.pdf>>. Acesso em: 26 de jul.2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n.07, de 12 de abril de 2016. Altera os anexos IV e V da IN SDA n.27, de 05 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 abril de 2016a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n.44, de 22 de novembro de 2016. Estabelece as normas de produção e os padrões de identidade e qualidade de sementes de espécies forrageiras de clima temperado. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 dezembro de 2016b.

BRASIL. Resolução CONAMA n.481, de 03 de outubro de 2017. Critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, de 04 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Programa Nacional Lixo Zero**. Brasília, DF, 2019. 72 p. (Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana, Fase 2: Resíduos Sólidos Urbanos. < Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/Programa-Lixao-Zero.pdf/@@download/file/Programa-Lixao-Zero.pdf>> Acesso em: 07 maio. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n. 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos fertilizantes orgânicos, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jul. 2020a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Planares 2020b. Consulta Pública. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%BAblica.pdf>> Acesso em: 26 abr. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jan. 2022.

BRINTON, W.F. An International Look at Compost Standards. **ByoCycle**, v.42, n.4, p.74-76, 2001.

CADAHÍA, C.; EYMAR, E. Caracterización Química y Físicoquímica de Substratos, **Actas de Horticultura**, v.11, p.19-25,1992.

CAMBOIM, Y.M. **Desenvolvimento de um Protótipo para Compostagem com Aeração Forçada em Pequena Escala**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Bacharelado em Biologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

CARDOSO, S.M.; MACEDO, G.A.; SARRO, W.S; FERREIRA, G.C.S.; SILVA, V.P.A.; PEREIRA, R.S. **Caracterização de Substratos de Solo e Areia Descartada de Fundição**. In: International Workshop Advances in Cleaner Production, 6.,2017, Campinas. **Anais [...]** São Paulo: Academic Work, 2017. p.1-7.

CARMO, C. A. F. de S. do; ARAUJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de Análise de Tecidos Vegetais Utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, Circular técnica n.6., 2000. 41 p.

CARNIN, R.L.P. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Substratos Asfálticas**. 2008. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CARNIN, R. L. P.; SILVA, C.O.; POZZI, R. J.; CARDOSO Jr. D.; FOLGUERAS, M. V.; MALKOWISKI, W. Desenvolvimento de Peças de Concreto (Paver) contendo Areia Descartada de Fundição para Pavimento Intertravado. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro, v.5, p.56-67, dez.2010.

CARNIN, R.L.P. **Uso da Areia Descartada de Fundição na Agricultura**. Florianópolis: Editora Expressão, 2020. Disponível em: < <https://www.editoraexpressao.com/uso-da-areia-descartada-de-fundicao-na-agricultura>> Acesso em: 14 jul.2022.

CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, 4a.ed., IPT/CEMPRE, São Paulo, SP, BRASIL, 2018. 374p. Acesso em: 21 ago.2023. Disponível em: <https://cempre.org.br/manuais/>

CERRI, C. E. P. **Compostagem**. Piracicaba, São Paulo: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, 2008. 19p. Apostila. Disponível em: <[chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6566443/mod\\_resource/content/1/compostagem%20-%20embrapa.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6566443/mod_resource/content/1/compostagem%20-%20embrapa.pdf)> Acesso em: 28 abr.2020.

CHAVES, L.H.G.; FRANÇA, E.F.M.; ARAUJO, D.L.; FRANÇA, C.B. Crescimento, Distribuição e Acúmulo de Cobre e Zinco em Plantas de Pinhão-Manso. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v.41, n.2, p.167-176, 2010.

CHEGATTI, S. **Aplicação de Resíduos de Fundição em Massa Asfáltica, Cerâmica Vermelha e Fritas Cerâmicas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CHEN, Z; ZHANG, S.; WEN, Q; ZHENG, J. Effect of Rate on Composting of Penicillin Mycelyal Dreg. **Jornal of Environmental Sciences**, Harbin, n.37, p.172-178, jun.2015.  
CLIMATEMPO. A StormGeo Company. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br>>. Acesso em: jul./out.2021 e jul./out..2022.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus Vermicompostagem: Comparação das Técnicas Utilizando Resíduos Vegetais, Esterco Bovino e Serragem. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Minas Gerais, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015

CRUZ, J. C.; MAGALHAES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Milho: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 352p.

CUSTÓDIO, B. P. **Manual Prático de Compostagem 2011**. Garibaldi: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2011.

DHEIN, F.F., OLIVEIRA, P.S.R., RORATO, D.G., RUBIO.F., FUGIHARAS, K.Y., LOEBEL, A.J.P. **Caracterização de pH e condutividade elétrica de compostos orgânicos provenientes de mexilhão dourado**. In: XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola Congresso Online, 2020, Brasil. **Anais [...]**, Brasil: XLIX, CONBEA, 2020. p. 1-4.

DIONÍSIO, J.A. **Academia da Minhoca**. 2020. Disponível em: <<https://academiadaminhoca.com.br/>> Acesso em: 26 jun.2021.

DOMINGUES, L. G. F; PIRES, M. G. S.; FERREIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I.; SARRO, W. S.; CARNIN, R. **Caracterização Ambiental de Areias Descartadas de Fundição utilizadas na Cobertura de Resíduos em Aterros Sanitários**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **Anais [...]**, Natal: 22º CBECiMat, 2016. p. 619-627.

DUNGAN, R.S.; DEES, N.H. The Characterization of Total and Leachable Metals in Foundry Molding Sands. **Journal of Environmental Management**, n.,90, p.539-548, 2009.

EDWARDS, C.; FLETCHER, K.E. Interactions between Earthworms and Microorganisms in Organic – matter Breakdown. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, n.24, p.235-247, 1988.

EMATER, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Vermicompostagem: uma fábrica caseira de húmus**. EMATER-ASCAR, Porto Alegre, RS, 2010, 3p. Disponível em: [http://dspace.emater.tche.br/xmlui/bitstream/handle/20.500.12287/48546/emater\\_rs\\_48546.pdf?sequence=1](http://dspace.emater.tche.br/xmlui/bitstream/handle/20.500.12287/48546/emater_rs_48546.pdf?sequence=1). Acesso em: 28 abr. 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Faixas de Suficiência para Interpretação de Nutrientes Foliare em Pimenta-longa (*Piper hispidinervum*) – Primeira Aproximação**, Embrapa, Circular Técnica n°61, Rio Branco, AC, 2012, 6 p. Disponível em: <<chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140509/1/25970.pdf>> Acesso em: 20 ago.2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações Técnicas para o Cultivo de Aveia**, Embrapa, Boletim de pesquisa n°6, São Carlos, SP, 2000, 39 p. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/45809/recomendacoes-tecnicas-para-o-cultivo-de-aveia>> Acesso em: 22 ago. 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS)**, 5a ed., Embrapa, Brasília, DF, 2018, 356p. Acesso em: 21 ago. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos?link=sibcs>

ERMOLAEV, E.; PELL, M.; SMÅRS, S.; SUNDBERG, C.; JÖNSSON, H. Greenhouse Gas Emission from Covered Windrow Composting with Controlled Ventilation. **Waste Management and Research**, v. 30, p.155-160, 2012.

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. 504p.

FAGERIA, N. K; STONE, L. F. **Qualidade do Solo e Meio Ambiente**. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA, Documentos 197, 2006. 35p.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L. A.C.; BACCHI, O.O.S. Distribuição do Sistema Radicular de uma Cultura de Aveia Forrageira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4.p.1091-1100, 1999.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro. ABES. 1999.

FERNANDES, F. SOUZA, S.G.; NUNES, C.W.; NOGUEIRA, R.G.; IZUME, F. Automação para o Controle da Aeração em Reator Piloto para a Compostagem de Lodo. **Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.21, n.4.p.89-94, 2000.

FERNANDES, S.M. **Aproveitamento de Resíduos Sólidos Orgânicos para Produção de Composto Especial para Manutenção de Coleção Botânica: Estudo de Viabilidade para o Instituto Inhotim**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FLOSS, E.L. Manejo forrageiro de aveia (*Avena sp.*) e Azevém (*Lolium sp.*). **Plantas Forrageiras de Pastagem**. In: 9º Simpósio sobre Manejo de Pastagem, 9.,1998, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: FEALQ, 1998. p 191- 228.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para Integração Lavoura- Pecuária – Floresta na Região Sul – Brasileira**. 2 ed. Passo Fundo, RS: EMBRAPA, 2012. 274 p.

GRAVES, R.E.; HATTEMER, G.M.; STETTLER, D.; KRIDER, J.N.; CHAPMAN, D. Composting. In: **National Engineering Handbook – Part 637**. Washington, DC: USDA – United States Department of Agriculture, 2010. Disponível em: <<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

GUEDES, I. M. R. **Papel da Matéria Orgânica no Solo**. In: Geófagos. ScienceBlogs Brasil. São Paulo, 5 nov. 2006. Disponível em: <<https://www.blogs.unicamp.br/geofagos/2006/11/05/papel-da-materia-organica-no-solo/>>. Acesso em: 27 jun. de 2021.

GUERMANDI, J. I. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. 2015. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

GUERRERO, F.; POLO, A. Control de Las Propiedades Hidrofísicas de Las Turbas para su Utilización Agrícola. **Agriculture Medicine**, v.119, p.453-459, 1989.

HERMENEGILDO, K.M. **Determinação da Concentração de Metais presentes em Areia Verde de Fundição: Estudo de Caso da Fundição Tupy S.A.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

HIJAZIN, C.A.H., MONARETTO, M.O., TUBINO, R.M.C. **Análise do Impacto do Insuflamento de Ar Quente na Mudança da Temperatura e da Umidade de um Substrato**, **Anais [...]** Porto Alegre: 11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2020. p.1-10.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Brasil: IBGE, 2000. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2331#resultado>> Acesso em: 14 de jul. 2021.

IPNI, International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas nº160, dezembro de 2017; **Manejo da Fertilidade do Solo em Pomares de Frutíferas**. IPIN, Piracicaba, SP, Brasil, 2017. Disponível em:<[14pp.http://www.ipni.net/publication/ia-Brasil.nsf/0/11422D5849073C7983258210003DA5A8](http://www.ipni.net/publication/ia-Brasil.nsf/0/11422D5849073C7983258210003DA5A8)> Acesso em: 05 de ago. 2023.

KADER, N.A.E.; ROBIN, P.; PAILLAT, J.M; LETERME, P. Turning, Compacting and the Addition of Water as Factors Affecting Gaseous Emissions in Farm Manure Composting. **Bioresource Technology**, v.98, p.2619-2628, 2007.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção Comercial de Plantas Ornamentais**. 2 ed., Guaíba: Agrolivros, 2005. p. 45 - 72.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BARTZ, H. R.; GATIBONI, L. C.; BISSANI, C. A. & ESCOSTEGUY, P. A. V. **Proposta de nova equação para determinação do valor de H+Al pelo uso do índice SMP em solos do RS e de SC**. In: Reunião Anual da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, 33., 2001. **Ata [...]**. Frederico Westphalen: 2001. p. 21-26.

KAZA, S., YAO, L. BHATA-TATA, P., WOERDEN, F.V. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. World Bank Publications, Washington, 2018. 295p.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A. 2008.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Ceres. 1985

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: Editora Ceres. 2004.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Australia, v.71, p.259-265, 2007.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS1. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 412-419, 2013.

LABORSOLO. **Micronutrientes: Conhecendo o Ferro**. Londrina: Labor News, 2013. Disponível em: <<https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/micronutrientes-conhecendo-o-ferro>> Acesso em: 11 de out. 2022.

LANDGRAF, M. D.; ALVES, M.R.; SILVA, S.C.; REZENDE, MO.O. Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. **Química Nova**, v.22. n.4, p.483-486, 1999.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A Importância Ambiental da Vermicompostagem: Vantagens e Aplicações**. Rima: São Carlos, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004, 531p.

LEITE, L. F.C. **Matéria Orgânica no Solo**. Piauí, PI: EMBRAPA, Documento n.97, 2004. 31p.

LEPSCH, I.F. **19 Lições da Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 312p.

LIM, S.L.; LEE, L.H.; WU, T.Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, Malasia, v.111, p.262-278, 2016.

LIMA, L.M.Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265p.

LINDSAY B. J.; LOGAN T.J. Agricultural Reuse of Foundry Sand. **Journal of Residuals Science and Technology**, v.2, n.4, p.3-12, 2005.

LOPES, D.H. **Morfologia Externa**. 2020. 112 lâminas. Apresentação em PowerPoint. Disponível em: <<https://www.slideserve.com/rea/morfologia-externa>> Acesso em: 24 de jun. de 2021.

- MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 1.ed. São Paulo: CERES Ltda., 1979. 256 p.
- MANAHAN S.E. **Environmental Chemistry**. 7ed. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1999.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINI, N. C. **Reuso de Areia Descartada de Fundição para a Confecção de Blocos de Concreto Estrutural**. 2017. 72f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.
- MARIOTTO, C.L. **Areias de Fundição: Alguns Desenvolvimentos e Perspectivas**. Comunicação Interna 134 – IPT – São Paulo. 1984. p.16.
- MARIOTTO, C.L. Regeneração de Areias: Uma tentativa de Discussão Sistemática. **Fundição & Matérias-Primas**, São Paulo, n.33, p.1-9, 2000.
- MATOS, G.S.B.; GAMA, M.A.P.; NETO, A.A.L.M. **Rochagem e Remineralização de Solos**. Nutrição Mineral de Plantas - Módulo I: Conceitos e Funções dos Nutrientes. Belém-Pará, 2020.32 p.
- MAY, D.; BARRETO, J.; ALESSI, A. Sistema de Compostagem Experimental com Controle de Maturação e Qualidade do Composto. **Revista Educação Ambiental em Ação**, Curitiba, v.20, n.75, p.1-10, jun./ago, 2021. Disponível em: < <https://revistaea.org/artigo.php?idartigo=4028>> Acesso em: 30 jul. 2021.
- MAZOCCO, L.A. **Avaliação de Genótipos da Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb) para a Produção no Bioma Cerrado**. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- MELO, W.J.; MARQUES, MO.; MELO, V.P. O Uso Agrícola do Biossólido e as Propriedades do Solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, MO. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. p.289-363.
- MELO, L.C.A.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Caracterização da Matriz Orgânica de Resíduos de Origem Diversificada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, v.32, p.101-110, 2008.
- MENDES, M.S. **Introdução a Fertilidade do Solo**. 2007. 64p. Apostila da Universidade Federal da Bahia (UFBA) do Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água.
- MENDES, N.C., LAURENT, A., HAUSCHILD, M.Z. Effect factors of terrestrial acidification in Brazil for use in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.24, p.1105-117, 2019.
- MILNER, L. **Manejo de Irrigação e Fertilização de Substratos**. In: Encontro Nacional de Substratos para Plantas, 3.,2002, Campinas: **Anais [...]** São Paulo: IAC, 2002. p.45-51.
- MUSTIN, M. **Le Compost Gestion de la Matière Organique**. Paris: Édition François Dubusc, 1987. 954p.

NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C.; MACHADO, J.R. Maturação de Sementes de Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb): I. Maturidade de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.315-326, 1994.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade**. Aracaju, AJU: EMBRAPA, Circular Técnica n.59, 2009. 7 p.

NUNES, R. R. **Vermicompostagem como Tecnologia Aplicada à Valorização e Reaproveitamento dos Resíduos de Curtume: Um Estudo Químico e Agrônômico com vistas à Produção Orgânica de Pimentão em Ambiente Protegido**. 2017. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Química da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T.B. **Compostagem**. Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. São Paulo. 2008. Apostila de Matéria Orgânica do Solo.

OLIVEIRA FILHO, J.G., CAMARA, C.P., SOUSA, T.C.F., CRUZ, I.A., EGEA, M.B., FALCÃO, H.A.S., SILVA, E.R. Caracterização microbiológica do processo de compostagem de resíduos orgânicos em pequena escala. **Colloquium Agrariae**, São Paulo, v.13, n.2, p. 130-136, 2017.

OLIVEIRA, V.V. **Processo de Fundição**. 2010. 70 lâminas. Apresentação em PowerPoint. Disponível em: <[http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos\\_de\\_Fabricacao/aula%20%20Processo%20de%20Fundicao.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos_de_Fabricacao/aula%20%20Processo%20de%20Fundicao.pdf)> Acesso em: 08 jul. 2021.

ORKAS, J. **Beneficial Reuse of Foundry Surplus Sands and the Composting Process**. In: International Conference: Foundry Waste Possibilities in the Future, 12, 2001, San Sebastian: **Anais [...]**. San Sebastian: MoE Publication, 2011. p.150-160.

OWENS, G. **Development of Policies for the Handling, Disposal and/or Beneficial Reuse of Used Foundry Sands – a Literature Review**. Centre for Environmental Risk Assessment and Remediation (CERAR), University of South of Australia. Report n° 07. April, 2008.

PEIXOTO, R.T. dos G. **Compostagem: Sistema de Produção de Alfaca Orgânico**. 2012. 12p. Disponível em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55111/1/sistema-de-producao-de-alfaca-organico-Ricardo-trippia.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. 2019.

PENKAITIS, G., SÍGOLO, J.B. Waste Foundry Sand. Environmental Implication and Characterization. **Geologia USP**, v.12, n.3, p.57-70, 2012

PEREIRA, J.P. Aveia Forrageira. **Informe Agropecuário**, v.6, p.59-70, 1985.

PEREIRA, L.E.T; BUENO, I, C.S.; HERLING, V.R.; ALMEIDA, O.J.I. **A Dinâmica do Crescimento de Plantas Forrageiras e o Manejo das Pastagens**. Apostila de Sala de Aula. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA -USP) – Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2016a. Impresso.

PEREIRA, L.E.T; HERLING, V. R; ALMEIDA, O. J. I. **Gramíneas Forrageiras de Clima Temperado e Tropical**. Apostila de sala de aula. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA-USP) - Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2016b. Impresso.

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – **PMGIRS/DMLU - Diagnóstico e Prognóstico**. v.1.2013. Disponível em:< PMGIRS Porto Alegre Volume 1 \_Versão Pré-pdf\_2 (procempa.com.br)>

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROETZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para entender a Terra**. Editora Bookman. 4.ed. 2006.

RAIJ, B.V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. 2 ed. Piracicaba: Franciscana, 1981.

RAO, S.R. **Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes: Waste Management Series 7**. 1ed, Quebec: McGill University, 2006, 557p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. 1ed. Minas Gerais: SBSCS, 1999.360p.

RUGGIERI, L.; GEA, T.; MOMPEÓ, M.; SAYARA, T.; SÁNCHEZ, A. Performance of Different Systems for the Composting of the Source-Selected Organic Fraction of Municipal Solid Waste. **Biosystems Engineering**, Barcelona, v.101, n.1, p. 78-86, 2008.

SADAVA, D.; HELLER, H.C.; HILLIS, D.M.; BERENBAUM, M. **Life de Science of Biology**. 9 ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2011. 1392p.

SALERNO, A.R.; VETTERLE, C.P. **Avaliação de Forrageiras de Inverno no Baixo Vale do Itajaí**. Santa Catarina. Florianópolis: EMPASC, Comunicado Técnico, 76. 1984. 2p.

SANTI, A.; AMADO, T.J.C; ACOSTA, J.A.A. Adubação Nitrogenada na Aveia Preta. I- Influência na Produção de Matéria Seca e Ciclagem de Nutrientes sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa -MG, v.27, n.6, p.1075-1083, 2003.

SANTOS, A.T.L; HENRIQUE, N.S; SHHLINDWEIN, J.A; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Aproveitamento da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos para Produção de Composto Orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.3, n.1, p.15-28, 2014.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; ARAUJO FILHO, J.C. de; OLIVEIRA, J.B.de; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 355p.

SARKAR, S.; PAL, S.; CHANDA, S. Optimization of a Vegetable Waste Composting Process with a Significant Thermophilic Phase. **Procedia Environmental Sciences**, India, v.35, p.435-440, 2016.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de Areia de Fundição através de Tratamento Químico via Processo Fenton**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

SCHIMITZ J.A.K., SOUZA P.V.D., KAMPF A.N. Propriedades Químicas e Físicas de Substratos de Origem Mineral e Orgânica para o Cultivo de Mudas em Recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 937-944; 2002.

SCHUCH, L.O.B; NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N.; MAIA, M.S. Vigor das Sementes e Análise de Crescimento de Aveia Preta. **Scientia Agrícola**, v.57, n.2, p.305-312, 2000.

SIDDIQUE, R.; NOUMOWE, A. Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, India, v.53, p.27-35, set.2008.

SILVA, R. M.; JABLONSKI, A.; SIEWERD, L.; SILVEIRA, J.P. Desenvolvimento Radicular e Produção de Aveia Preta até o Estágio de Grão Pastoso, Cultivada em Solução Nutritiva completa com adição de Substâncias Húmicas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, n.1, p.53-58, 2000.

SILVA, F.C; RODRIGUES, L.H.A.; SANTOS, A.D.; BERTON, R.S. **Uso de Compostos Orgânicos: Controle Ambiental e Informatização**. In: I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004.127p

SILVA, K.D. **Reutilização do Resíduo de Areia de Fundição no Brasil e no Mundo o Contexto do Estado de Minas Gerais**. 2010. Monografia (Especialização em Tecnologia Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, J. R. **Automação do Processo de Compostagem: Uso de Sensores para Monitoramento e Controle de Parâmetros de um Processo Sustentável**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2019.

SILVA, MO.; SANTOS, M.P.; SOUZA, A.C.P.; SILVA, R. L.V.; MOURA, I.A.A.; SILVA, R.S.; COSTA, K.D.S. Soil Quality: Biological Indicators for Sustainable Management. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.6853-6875, 2021.

SILVEIRA E.B, RODRIGUES V.J.L.B, GOMES A.M.A, MARIANO R.L.R, MESQUITA J.C.P. Pó de coco como substrato para a produção de mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.211-216; 2002.

SIQUEIRA, T.MO.; ASSAD, M.L.R.C.L. Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo (BRASIL). **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.18, n.4, p.243-264, 2015.

SOBRAL, L.F.; BARRETO, M.C.V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J.L. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solo**. Aracaju, AJU: EMBRAPA, Documento 206, 2015. 15p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11 ed. Porto Alegre: SBCS Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004. 416p.

SOUTO, J.S.; ISHI, T.; ROSOLEM, C.A.; CAVARIANI, C. Distribuição do Sistema Radicular de Aveia Preta em Função da População e Espaçamento. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.9, p.1283-1289, 1992.

SOUZA, L.A.; CARMO, D.F; SILVA, F.C.; PAIVA, W.M.L. Análise dos Principais Parâmetros que Influenciam a Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Pernambuco, n.3. v.8, p.194-212, 2020.

SOUZA, W.M.; AZEVEDO, P.D.; ARAÚJO, L.E. Classificação da Precipitação Diária e Impactos decorrentes de Desastres Associadas as Chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, n.2, v.5, p. 250-269, 2012.

SQM VITAS. **Absorção de Nutrientes**. Bahia: Candeias, 2022. Disponível em: <<https://sqm-vitas.com.br/nutricao/absorcao-de-nutrientes/>> Acesso em: 17 out. 2022.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise do Solo Plantas e Outros Materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. Boletim Técnico, nº5.

TEIXEIRA, R.C. **Substratos em Guarapari (ES): Geografia dos Solos Antrópicos**. 2015. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

TORDOFF, G.M.; BAKER, A.J.M. & WILLIS, A.J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. **Chemosphere**, v.41, p.219-228, 2000.

UNIÃO EUROPEIA - UE. **Re-use of Surplus Foundry Sand by Composting – LIFE13 ENV/FI/285**. Progress Report, 2014-2018. Finland: UE, 2018. 68p. Disponível em: <<https://life-foundrysand.com/dissemination-materials/final-report>> Acesso em: 21 dez. 2020.

VAN HAM, M.; TESHIMA, M. **Residuals Reuse in Aggregate Mine Reclamation: A Decade of BC Experience**. In: ANNUAL BRITISH COLUMBIA MINE RECLAMATION SYMPOSIUM, 29., 2005, **Proceedings [...]** Abbotsford: TRCR, 2005.

VERZUTTI, J. **Nutrição de Plantas: Como a Falta de Nutrientes Afeta as Plantas**. Pós-Graduação EAD em Solos e Nutrição de Plantas – AGROPÓS. Clonar – Centro Universitário UNIS, Minas Gerais, 16p., 2022. Disponível em: <<https://agropos.com.br/nutricao-de-plantas/>> Acesso em: 26 set. 2022.

VIRANDO A TERRA. **Composteiros do Brasil – Empresas e Projetos de Compostagem**. São Leopoldo, 19 jan. 2021. Facebook: @virandoaterra. Disponível em: <<https://www.facebook.com/virandoaterra/posts/1122121301558475>> Acesso em: 14 jul.2021.

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. **Characterization of Foundry Sand Waste**. Massachusetts: Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 2000, 82 p.

WIETH, A.R.; PINHEIRO, W.D.; DUARTE, T.S. Substratos e Concentrações de Nutrientes para a Produção de Microgreens de Brócolis em Sistema Hidropônico. **Agronomic Crop Journal**, São Paulo, n.4, v.28, p.422-434, 2019.

ZORZETO, T. Q. **Caracterização Física e Química de Substratos para Plantas e sua Avaliação no Rendimento do Morangueiro (*Fragaria* – *Ananassa duch.*)**. Dissertação (Mestrado). 2011. Instituto Agrônomo de Campinas, Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, 2011.

## ANEXO A - Análise físico-química do vermicomposto



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFª REJANE TUBINO/ CARLOS ATALLA

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 24/02/21

Data de expedição: 18/03/21

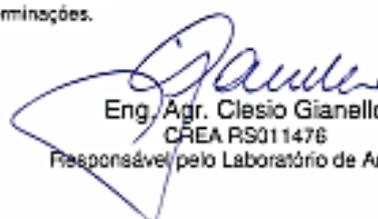
Nº DE REG.: R-032/2021

MATERIAL: VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra D2	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	83	gravimetria / -
pH	5,7	relação amostra água 1:5/potenciometria
Densidade - kg/m <sup>3</sup>	951	-
Carbono orgânico - % (m/m)	36	combustão úmida/Walkley Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	5,3	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,50	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	2,9	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,84	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,60	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,54	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	69	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 0,5 mg/kg
Zinco total - mg/kg	91	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - mg/kg	808	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	336	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	0,32	digestão úmida nítrico-periódica/ ICP-OES / 10 mg/kg
Boro total - mg/kg	23	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca, com exceção da umidade, pH e densidade.

Obs.: Média de 2 determinações.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO B – Análise físico-química do RAVF



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFª. REJANE TUBINO

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 26/01/20

Data de expedição: 13/02/20

Nº DE REG.: R-019/2020

MATERIAL: AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	1,51	gravimetria / -
pH	9,5	relação amostra:água 1:5/potenciometria
Densidade - kg/m <sup>3</sup>	1,346	-
Carbono orgânico - % (m/m)	2,0	combustão úmida/Walkley Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	0,14	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,01	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,13	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,41	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,13	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	26	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,6 mg/kg
Zinco total - mg/kg	63	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	1,4	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	210	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	0,39	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 10 mg/kg
Cádmio total - mg/kg	< 0,2	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Cromo total - mg/kg	38	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Níquel total - mg/kg	68	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Chumbo total - mg/kg	< 2	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Arsênio total - mg/kg	< 2	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Selênio total - mg/kg	< 4	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Bário total - mg/kg	349	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Vanádio total - mg/kg	26	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Molibdênio total - mg/kg	< 0,2	digestão seca/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Boro total - mg/kg	5	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg
Mercurio - mg/kg	0,04	digestão úmida EPA 7471 A/vapor frio / 0,01 mg/kg

Obs.: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.: Média de 2 determinações.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO C – Análise físico-química do substrato comercial



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROF<sup>a</sup>. REJANE TUBINO

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 21/01/20

Data de expedição: 05/02/20

Nº DE REG.:R-014/2020

MATERIAL: SUBSTRATO COMERCIAL

Amostra 01: A

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	14	gravimetria / -
pH	6,1	relação amostra/água 1:5potenciometria
Densidade - kg/m <sup>3</sup>	186	-
Carbono orgânico - % (m/m)	23	combustão úmida/Walkley Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	0,47	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,10	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,34	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,51	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	4,4	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,18	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	20	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 0,6 mg/kg
Zinco total - mg/kg	33	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	1,9	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	225	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	0,03	digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES / 10 mg/kg
Boro total - mg/kg	6	digestão seca/ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.: Média de 2 determinações.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO D – Análise química de fertilidade dos substratos do Tipo I (RAVF + SUBS. +VERM.)



**FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

360 DIAS DE VALIDADE  
**ANÁLISE BÁSICA**  
100% AUTOMATIZADAS



**ROLAS**

2020

### Laudo de Análise de Solo

NOBRE: PROFª REJANE TUBINO  
MUNICÍPIO: NOVO HAMBURGO  
ESTADO: RS  
LOCALIDADE:

DATA DO RECEBIMENTO: 17/03/20  
DATA DA EXPEDIÇÃO: 27/03/20

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P mg/dm <sup>3</sup>	K mg/dm <sup>3</sup>	M.O. %	Al <sub>exc.</sub> cmol/dm <sup>3</sup>	Ca <sub>exc.</sub> cmol/dm <sup>3</sup>	Mg <sub>exc.</sub> cmol/dm <sup>3</sup>
1	313/3	17	6.6	6.7	>100	>400	>10	0.1	6.1	12.9
2	313/4	17	7.6	7.4	>100	>400	7.5	0.0	14.1	10.7
3	313/5	15	8.0	7.5	>100	>400	6.1	0.0	12.7	9.5
4	313/6	17	8.1	7.5	>100	>400	5.9	0.0	13.0	8.1
5	313/7	15	8.3	7.6	>100	>400	5.8	0.0	12.8	6.0

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P, K, Cu, Zn e Na determinados pelo método Mehlich 1; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al e Mn trocáveis extraídos com KCl 1 mol/L; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 500 mg/L de P; S extraído com água quente.

NUM	H + Al cmol/dm <sup>3</sup>	CTC cmol/dm <sup>3</sup>	% SAT de CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM p/PRINT (t ha <sup>-1</sup> )			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	85	70	55
1	2.0	24.5	92	0.4	0.5	1.7	3.6				
2	0.9	29.3	97	0.0	1.3	3.9	3.0				
3	0.8	26.7	97	0.0	1.3	3.5	2.6				
4	0.8	25.5	97	0.0	1.6	3.6	2.2				
5	0.7	22.9	97	0.0	2.1	3.8	1.8				

CTC a pH 7.0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+M.D. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos e sob sistema de cultivo convencional. No sistema plantio direto, consultar um agrônomo.

NUM	S mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	B mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>	Fe g/dm <sup>3</sup>	Na mg/dm <sup>3</sup>	OUTRAS DETERMINAÇÕES
1	143	9.2	1.3	0.9	6			
2	321	12	0.1	2.6	6			
3	313	15	0.3	2.7	7			
4	325	11	0.2	3.0	6			
5	295	10.0	0.5	3.2	6			

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	1-10% RES. AREIA VERDE, 40 % SUBS. + 50% VERMICOMPOSTO
2	2-20% RES. AREIA VERDE, 30 % SUBS. + 50%VERMICOMPOSTO
3	3-30% RES. AREIA VERDE, 20 % SUBS. + 50%VERMICOMPOSTO
4	4-40% RES. AREIA VERDE, 10 % SUBS. + 50%VERMICOMPOSTO
5	5-50% RES. AREIA VERDE + 50% VERMICOMPOSTO

  
**Clelio Gianello**  
 Engº Agrº CREA/RS 11.476  
 Chefe do Laboratório de Análises

## ANEXO D – continuidade


**RELATÓRIO DE ENSAIO QUÍMICO DE SOLO**  
 Página 01 - 01

 Laboratório Solo Sul  
 LABORATÓRIO CIÊNCIA DO SOLO LTDA  
 Rua Itália, 228, Centro  
 São João da Urutiga - RS - 99.855-000  
 Fone: (54) 3532-1343  
 E-mail: laboratoriosolosul@gmail.com  
 Site: www.laboratoriosolosul.com.br

<b>Proprietário / Produtor</b>	CARLOS ATALLA HIDALGO	
<b>Registro</b>	7949 / 2021 - 1	
<b>Data de registro</b>	16/07/2021	
<b>Município - UF</b>	Porto Alegre - RS	
<b>Localidade</b>	ESTUDO	
<b>Remanescente</b>	MESMO	Amostragem de responsabilidade do cliente.

REFERÊNCIA DA AMOSTRA						
Número	Cultura	Profundidade		Referência	Latitude	Longitude
7949	Não informado	cm	cm	Não informado	Não informado	Não informado
DADOS ESCRITURAIS DA AMOSTRA						
<b>Matrícula</b>	-	<b>Lote rural</b>	Não informado		<b>Área HA</b>	0

## ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DE ALTA PRECISÃO

Muito alta	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Alto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bom	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Muito baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>RESULTADO</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>7,4</b>	<b>179,9</b>	<b>620</b>	<b>10,8</b>	<b>5,4</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>272,16</b>	<b>46,12</b>	<b>3,26</b>	<b>22,2</b>	<b>11,99</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>SNP</b>	<b>Pn</b>	<b>MO</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>	
	<b>TAMPÃO</b>	<b>ÁGUA</b>	<b>OXIDAÇÃO</b>	<b>MOLICH 1</b>											
	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>%</b>	<b>MG/L</b>	<b>CMOLC(C)/L</b>				<b>MG/DM2</b>						
GRÁFICO DE INTERPRETAÇÃO CONFORME A METODOLOGIA ABAIXO DESCRITA, CONSULTE UM AGRÔNOMO PARA OBTER A RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO															

19	112	120,08	149,6	203,83	89,14	329,5	59	18,29	17,79	0	97,27	0	59,06	29,53	8,67	2	6,91	2,41	458,01	53,66
<b>ARG</b>	<b>Ma</b>	<b>COT</b>	<b>P Rem</b>	<b>P Rel</b>	<b>P NCrI</b>	<b>P Total</b>	<b>P LCA</b>	<b>CTC T</b>	<b>CTC E</b>	<b>SB HF%</b>	<b>SB V%</b>	<b>Al Sat</b>	<b>Ca Sat</b>	<b>Mg Sat</b>	<b>K Sat</b>	<b>Ca / Mg</b>	<b>Ca / K</b>	<b>Mg / K</b>	<b>Zn NCrI</b>	<b>S NCrI</b>
NCrI: Nível Crítico / Rem: Remanescente / Rel: Relativo / LCA: Limite Crítico Ambiental / COT: Carbono Orgânico Total / SB: Saturação Base / CTC: Capacidade Troca de Cátions Total e Efetiva / ARG: Argila / Sat: Saturação																				

EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE NO SOLO ANALISADO						DESPERDÍCIO DO FERTILIZANTE
NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO	ENXOFRE	TOTAL DE PERDA
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	12,81 %

Laboratório Aprovado pelo PAQLF - Programa de Análise de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade da EMBRAPA SOLOS  
 Laboratório Certificado pelo SINAIS SISTEMA NACIONAL DE ANÁLISES DE SOLOS, ensaios publicados e aprovados no EPTG sob registro 522982, informações: qualidade@sinais.com.br  
 Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente as amostras analisadas, contra provas permaneceram a disposição do cliente por 30 dias.  
 Alterações no laudo somente com a documentação que comprove a mesma!  
 Metodologia: Tedesco Mj et Al. Análise de sais, plantas e outros materiais. Boletim técnico nº 05, ed rev e ampl. Porto Alegre - Departamento de Solos UFRGS, 1995, 174p.  
 Para conferir a autenticidade do laudo deve-se fazer a leitura do QR-CODE na parte inferior dos laudos.



*Mateus Miolla*  
 RESPONSÁVEL TÉCNICO ANÁLISES  
 ENG AGRÔNOMO MATEUS MIOLLA  
 CREA-RS: 235734

DATA DE EMISSÃO DO RELATÓRIO: 20/07/2021 20:05:39

## ANEXO E – Análise química de fertilidade dos substratos do Tipo II (RAVF + SUBS. + COMP.)



### RELATÓRIO DE ENSAIO QUÍMICO DE SOLO Página 1 - 1

LABORATÓRIO CIÊNCIA DO SOLO LTDA  
Rua Itália, 228, Centro  
São João da Urugua - RS - 99.855-000  
Fone: (54) 3532-1343  
E-mail: laboratoriosolosul@gmail.com  
Site: www.laboratoriosolosul.com.br

Proprietário / Produtor	CARLOS ATALLA HIDALGO	
Registro	6522 / 2022 . 1	
Data de registro	21/07/2022	
Município - UF	Porto Alegre - RS	
Localidade	INTERIOR	
Remetente	MESMO	Amostragem de responsabilidade do cliente.

REFERÊNCIA DA AMOSTRA						
Número	Cultura	Profundidade		Referência	Latitude	Longitude
6522	Não informado	cm	cm	AMOSTRA A	Não informado	Não informado
DADOS ESCRITURAIS DA AMOSTRA						
Matrícula	.	Lote rural	Não informado		Área HA	0

### ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DE ALTA PRECISÃO

Muito alto															
Alto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bom	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Muito baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
RESULTADO	7,4	7,4	5,6	176,6	1020	3,7	4,8	0	1	266,84	50,6	3,16	20,71	15,59	
ELEMENTO	SMP	Ph	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Mn	Cu	B	S	Zn	
	TAMPÃO 7	ÁGUA	OXIDAÇÃO	MEHLICH 1											
UNIDADE	--	--	%	MG/L	CMOLC(C)/L					MG/DM3					
GRAFICO DE INTERPRETAÇÃO CONFORME A METODOLOGIA ABAIXO DESCRITA, CONSULTA UM AGRÔNOMO PARA OBTER A RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO															

12	502	88,48	126	248,63	71,03	302,6	52	12,11	11,11	0	91,74	0	30,56	39,64	21,54	0,77	1,42	1,84	326,04	42,71
ARG	Na	COT	P Rem	P Rel	P NCri	P Total	P LCA	CTC T	CTC E	SB M%	SB V%	Al Sat	Ca Sat	Mg Sat	K Sat	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	Zn NiCri	S NiCri
NiCri: Nivel Critico / Rem: Remanescente / Rel: Relativo / LCA: Limite Critico Ambiental / COT: Carbono Orgânico Total / SB: Saturação Bases / CTC: Capacidade Troca de Cátions Total e Efetiva / ARG: Argila / Sat: Saturação																				

EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE NO SOLO ANALISADO						DESPERDÍCIO DO FERTILIZANTE
NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO	ENXOFRE	TOTAL DE PERDA
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	17,34 %

- Laboratório Reconhecido na NBR ISO/IEC 17025:2017 pela Rede Metrologica RS (Ca - Mg - pH - MO - P - K - Al) Certificado Nº 30501 Validade Setembro 2023

Laboratório Aprovado pelo PAQLF - Programa de Análise de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade da EMBRAPA SOLOS

Os resultados contidos nesse documento tem significação restrita e se aplicam somente as amostras analisadas, contra provas permaneceram a disposição do cliente por 30 dias. A data dos ensaios é a mesma da data da emissão do laudo que consta ao final dos laudos. Esse relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório exceto se for reproduzido na integra.

Metodologia: Tedesco M.J et Al. Análise de solos, plantas e outros materiais. Boletim tecnico nº 05, ed rev e ampl. Porto Alegre - Departamento de Solos UFRGS, 1995, 174p.

Para conferir a autenticidade do laudo deve-se fazer a leitura do QR-CODE na parte inferior dos laudos.



  
 RESPONSÁVEL TÉCNICO ANÁLISES  
 LUCIANO BRUNETTO  
 REGISTRO: 00049803018

DATA DE EMISSÃO DO RELATÓRIO: 23/07/2022 12:00:19





## ANEXO E – continuidade


**RELATÓRIO DE ENSAIO QUÍMICO DE SOLO**  
 Página 1 - 1

 LABORATÓRIO CIÊNCIA DO SOLO LTDA  
 Rua Itália, 228, Centro  
 São João da Urtiga - RS - 99.855-000  
 Fone: (54) 3532-1343  
 E-mail: laboratoriosolosul@gmail.com  
 Site: www.laboratoriosolosul.com.br

Proprietário / Produtor	CARLOS ATALLA HIDALGO	
Registro	6525 / 2022 . 1	
Data de registro	21/07/2022	
Município - UF	Porto Alegre - RS	
Localidade	INTERIOR	
Remetente	MESMO	Amostragem de responsabilidade do cliente.

REFERÊNCIA DA AMOSTRA						
Número	Cultura	Profundidade		Referência	Latitude	Longitude
6525	Não informado	cm	cm	AMOSTRA D	Não informado	Não informado
DADOS ESCRITURAIS DA AMOSTRA						
Matrícula	.	Lote rural	Não informado		Área HA	0

## ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DE ALTA PRECISÃO

Muito alto															
Alto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bom	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Muito baixo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
RESULTADO	7,9	7,9	2,6	52,7	640	3,3	2,9	0	0,7	106,07	23,37	1,05	11,1	10,25	
ELEMENTO	SMP	Ph	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Mn	Cu	B	S	Zn	
	TAMPÃO 7	ÁGUA	OXIDAÇÃO	MEHLICH 1											
UNIDADE	--	--	%	MG/L	CMOLC(C)/L				MG/DM3						
GRAFICO DE INTERPRETAÇÃO CONFORME A METODOLOGIA ABAIXO DESCRITA, CONSULTA UM AGRÔNOMO PARA OBTER A RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO															

13	611	41,08	107,6	90,63	58,15	160,3	53	8,54	7,84	0	91,8	0	38,66	33,97	19,17	1,14	2,02	1,77	238,7	34,94
ARG	Na	COT	P Rem	P Rel	P NiCr	P Total	P LCA	CTC T	CTC E	SB M%	SB V%	Al Sat	Ca Sat	Mg Sat	K Sat	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	Zn NiCr	S NiCr
NiCr: Nível Crítico / Rem: Remanescente / Rel: Relativo / LCA: Limite Crítico Ambiental / COT: Carbono Orgânico Total / SB: Saturação Bases / CTC: Capacidade Troca de Cátions Total e Efetiva / ARG: Argila / Sat: Saturação																				

EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE NO SOLO ANALISADO						DESPERDÍCIO DO FERTILIZANTE	
NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO	ENXOFRE	TOTAL DE PERDA	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	20,11 %	

- Laboratório Reconhecido na NBR ISO/IEC 17025:2017 pela Rede Metrológica RS (Ca - Mg - pH - MO - P - K - Al) Certificado Nº 30501 Validade Setembro 2023  
 Laboratório Aprovado pelo PAQLF - Programa de Análise de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade da EMBRAPA SOLOS

Os resultados contidos nesse documento tem significação restrita e se aplicam somente as amostras analisadas, contra provas permaneceram a disposição do cliente por 30 dias. A data dos ensaios é a mesma da data da emissão do laudo que consta ao final dos laudos. Esse relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório exceto se for reproduzido na íntegra.  
 Metodologia: Tedesco M J et Al. Análise de solos, plantas e outros materiais. Boletim tecnico nº 05, ed rev e ampl. Porto Alegre - Departamento de Solos UFRGS, 1995, 174p.

Para conferir a autenticidade do laudo deve-se fazer a leitura do QR-CODE na parte inferior dos laudos.



RESPONSÁVEL TÉCNICO ANÁLISES  
 LUCIANO BRUNETTO  
 REGISTRO: 00049803018

DATA DE EMISSÃO DO RELATÓRIO: 23/07/2022 12:03:40

## ANEXO E – continuidade


**RELATÓRIO DE ENSAIO QUÍMICO DE SOLO**  
 Página 1 - 1

 LABORATÓRIO CIÊNCIA DO SOLO LTDA  
 Rua Itália, 228, Centro  
 São João da Urtiga - RS - 99.855-000  
 Fone: (54) 3532-1343  
 E-mail: laboratoriosolosul@gmail.com  
 Site: www.laboratoriosolosul.com.br

Proprietário / Produtor	CARLOS ATALLA HIDALGO	
Registro	6526 / 2022 . 1	
Data de registro	21/07/2022	
Município - UF	Porto Alegre - RS	
Localidade	INTERIOR	
Remetente	MESMO	Amostragem de responsabilidade do cliente.

REFERÊNCIA DA AMOSTRA						
Número	Cultura	Profundidade		Referência	Latitude	Longitude
6526	Não informado	cm	cm	AMOSTRA E	Não informado	Não informado
DADOS ESCRITURAIS DA AMOSTRA						
Matrícula	.	Lote rural	Não informado		Área HA	0

## ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DE ALTA PRECISÃO

Muito alto															
Alto															
Bom															
Baixo															
Muito baixo															
RESULTADO	8	8	2,5	82,7	966	2,9	2	0	0,6	148,04	33,97	1,55	13,11	14,18	
ELEMENTO	SMP	Ph	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Mn	Cu	B	S	Zn	
	TAMPÃO 7	ÁGUA	OXIDAÇÃO	MEHLICH 1											
UNIDADE	--	--	%	MG/L			CMOLC(C)/L			MG/DM3					
GRAFICO DE INTERPRETAÇÃO CONFORME A METODOLOGIA ABAIXO DESCRITA, CONSULTA UM AGRÔNOMO PARA OBTER A RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO															

14	637	39,5	101,3	153,17	53,99	184	54	7,97	7,37	0	92,47	0	36,38	25,09	31	1,45	1,17	0,81	211,93	32,43
ARG	Na	COT	P Rem	P Rel	P NiCri	P Total	P LCA	CTC T	CTC E	SB M%	SB V%	Al Sat	Ca Sat	Mg Sat	K Sat	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	Zin NiCri	S NiCri
NiCri: Nivel Critico / Rem: Remanescente / Rel: Relativo / LCA: Limite Critico Ambiental / COT: Carbono Orgânico Total / SB: Saturação Bases / CTC: Capacidade Troca de Cátions Total e Efetiva / ARG: Argila / Sat: Saturação																				

EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE NO SOLO ANALISADO						DESPERDÍCIO DO FERTILIZANTE
NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO	ENXOFRE	TOTAL DE PERDA
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	19,2 %

- Laboratório Reconhecido na NBR ISO/IEC 17025:2017 pela Rede Metrologia RS (Ca - Mg - pH - MO - P - K - Al) Certificado Nº 30501 Validade Setembro 2023  
 Laboratório Aprovado pelo PAQLF - Programa de Análise de Qualidade em Laboratórios de Fertilidade da EMBRAPA SOLOS

Os resultados contidos nesse documento tem significação restrita e se aplicam somente as amostras analisadas, contra provas permaneceram a disposição do cliente por 30 dias. A data dos ensaios é a mesma da data da emissão do laudo que consta ao final dos laudos. Esse relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório exceto se for reproduzido na íntegra.

Metodologia: Tedesco M J et Al. Análise de solos, plantas e outros materiais. Boletim tecnico nº 05, ed rev e ampl. Porto Alegre - Departamento de Solos UFRGS, 1995, 174p.

Para conferir a autenticidade do laudo deve-se fazer a leitura do QR-CODE na parte inferior dos laudos.



RESPONSÁVEL TÉCNICO ANÁLISES  
 LUCIANO BRUNETTO  
 REGISTRO: 00049803018

DATA DE EMISSÃO DO RELATÓRIO: 23/07/2022 12:05:01



**ANEXO F – Análise química do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo I (RAVF+SUBS. +VERM.)**



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES**

**NOME:** PROFA. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

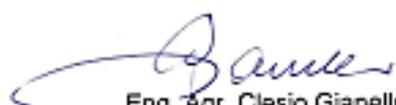
**REG.:** T-031/2020 - 01

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

**Amostra 01:** A-10% DE AREIA VERDE/40% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	12,95	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,0	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,91	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,53	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,52	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,20	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	41	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	168	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	130	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	11	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

**Obs.:** Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
**Eng. Agr. Clesio Gianello**  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

LOC.: -

MUN.: PORTO ALEGRE

EST.: RS

Data de entrada: 06/11/20

Data de expedição: 26/11/20

REG.: T-031/2020 - 02

MATERIAL: TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

Amostra 02: B-20% DE AREIA VERDE/30% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 02	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	14,24	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,0	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,66	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	4,1	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,37	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,16	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	127	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,69	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	164	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	10	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

Eng. Agr. Clésio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – Continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 03

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

Amostra 03: C-30% DE AREIA VERDE/20% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 03	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	12,16	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,1	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,56	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	7,8	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,30	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Eroxofero total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	20	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	103	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	177	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	15	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFA. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 04

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

Amostra 04: D-40% DE AREIA VERDE/10% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 04	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	14,43	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,1	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,62	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	12	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,14	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	18	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	75	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	148	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	10	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

LOC.: -

MUN.: PORTO ALEGRE

EST.: RS

Data de entrada: 06/11/20

Data de expedição: 26/11/20

REG.: T-031/2020 - 05

MATERIAL: TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

Amostra 05: E-50% DE AREIA VERDE/00% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 05	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	13,57	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,7	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,20	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,56	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	8,0	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,25	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	90	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,14	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	162	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	11	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F - continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 06

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE RADICULAR

Amostra 06: F-00% DE AREIA VERDE/50% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 06	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	26,91	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,4	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	1,0	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,65	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	1,4	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Eroxfre total - % (m/m)	0,29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	52	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	107	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,47	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	272	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	13	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 07

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

**Amostra 01:** A-10% DE AREIA VERDE/40% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	27,20	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,4	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,57	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	4,9	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,32	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,37	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobalto total - mg/kg	12	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	90	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	545	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	160	digestão úmida nítrico-perdórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	8	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

**Obs.:** Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

LOC.: -

MUN.: PORTO ALEGRE

EST.: RS

Data de entrada: 06/11/20

Data de expedição: 26/11/20

REG.: T-031/2020 - 08

MATERIAL: TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

Amostra 02: B-20% DE AREIA VERDE/30% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 02	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	24,47	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,3	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,52	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	4,3	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	10	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	65	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	148	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	58	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	5	digestão seca / ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 85°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clésio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

LOC.: -

MUN.: PORTO ALEGRE

EST.: RS

Data de entrada: 08/11/20

Data de expedição: 26/11/20

REG.: T-031/2020 - 09

MATERIAL: TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

Amostra 03: C-30% DE AREIA VERDE/20% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 03	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	24,53	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,4	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,58	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,9	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,40	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,26	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	8	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	56	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	276	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	112	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	6	digestão seca / ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.



Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PRÓFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 10

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

Amostra 04: D-40% DE AREIA VERDE/10% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 04	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	25,46	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,3	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,47	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	2,7	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,16	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,18	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	8	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	47	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	567	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	150	digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	5	digestão seca / ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

LOC.: -

MUN.: PORTO ALEGRE

EST.: RS

Data de entrada: 06/11/20

Data de expedição: 26/11/20

REG.: T-031/2020 - 11

MATERIAL: TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

Amostra 05: E-50% DE AREIA VERDE/00% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 05	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	26,87	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,5	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,50	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,7	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,34	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,19	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	8	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	51	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	500	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	127	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	7	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo F – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

### LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFa. REJANE TUBINO/CARLOS ATALLA

**LOC.:** -

**MUN.:** PORTO ALEGRE

**EST.:** RS

**Data de entrada:** 06/11/20

**Data de expedição:** 26/11/20

**REG.:** T-031/2020 - 12

**MATERIAL:** TECIDO VEGETAL - PARTE AÉREA

Amostra 06: F-00% DE AREIA VERDE/50% DE SUBSTRATO/50% VERMICOMPOSTO

Determinações	Amostra 06	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	25,72	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,4	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,53	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	4,5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,13	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	12	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	103	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	133	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	142	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	7	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Glanello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

**ANEXO G – Análise química do tecido vegetal da aveia preta cultivada nos substratos do Tipo II (RAVF+SUBS. +COMP.)**



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES**

**NOME:** PROFº REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

**MUN.:** NOVO HAMBURGO

**EST.:** RS

**LOC.:** -

**Data de entrada:** 27/10/22

**Data de expedição:** 09/11/22

**Nº DE REG.:** T-042/2022

**MATERIAL:** PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA

**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO A-10% RAVF /40% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	68	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,3	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,24	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,9	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,25	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	9	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	132	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	740	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	6	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 27/10/22

Data de expedição: 09/11/22

Nº DE REG.: T-042/2022

MATERIAL: PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA

IDENTI. DA AMOSTRA: TRATAMENTO B-20% RAVF /30% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 02	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	62	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,1	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	2,6	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,37	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,20	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	11	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	117	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	894	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	47	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	7	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROFº REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 27/10/22

Data de expedição: 09/11/22

Nº DE REG.: T-042/2022

MATERIAL: PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA

IDENTI. DA AMOSTRA: TRATAMENTO C-30% RAVF /20% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 03	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	91	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,6	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,41	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,24	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	125	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	64	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	*nta	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

\* nta = Não tem amostra

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES****NOME:** PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA**MUN.:** NOVO HAMBURGO**EST.:** RS**LOC.:** -**Data de entrada:** 27/10/22**Data de expedição:** 09/11/22**Nº DE REG.:** T-042/2022**MATERIAL:** PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO D-40% RAVF /10% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 04	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	72	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,3	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,37	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	10	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	83	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	752	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	37	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	9	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 27/10/22

Data de expedição: 09/11/22

Nº DE REG.: T-042/2022

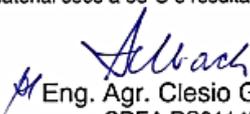
MATERIAL: PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA

IDENTI. DA AMOSTRA: TRATAMENTO E-50% RAVF /00% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 05	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	88	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	*nta	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,20	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	2,5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	11	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	102	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,13	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	44	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	*nta	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

\* nta = Não tem amostra

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES****NOME:** PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA**MUN.:** NOVO HAMBURGO**EST.:** RS**LOC.:** -**Data de entrada:** 27/10/22**Data de expedição:** 09/11/22**Nº DE REG.:** T-042/2022**MATERIAL:** PARTE RADICULAR DA AVEIA PRETA**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO F-00% RAVF /50% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 06	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	52	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,2	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,34	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,26	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	11	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	123	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	644	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	38	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	6	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476

Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES****LAUDO DE ANÁLISES****NOME:** PROFº REJANE TUBINO - CARLOS ATALA**MUN.:** NOVO HAMBURGO**EST.:** RS**LOC.:** -**Data de entrada:** 24/10/22**Data de expedição:** 09/11/22**Nº DE REG.:** T-040/2022**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO A-10% RAVF /40% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	30	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,5	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,33	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	7,6	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,19	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	7	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	80	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	156	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	14	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

**MUN.:** NOVO HAMBURGO

**EST.:** RS

**LOC.:** -

**Data de entrada:** 24/10/22

**Data de expedição:** 09/11/22

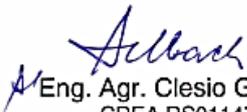
**Nº DE REG.:** T-040/2022

**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA

**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO B-20% RAVF /30% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 02	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	30	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,0	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,25	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,9	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,14	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,10	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	52	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	95	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	27	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	14	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES****NOME:** PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA**MUN.:** NOVO HAMBURGO**EST.:** RS**LOC.:** -**Data de entrada:** 24/10/22**Data de expedição:** 09/11/22**Nº DE REG.:** T-040/2022**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO C-30% RAVF /20% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 03	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	45	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,1	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	6,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,11	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,14	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,22	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	6	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	63	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	198	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	31	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	17	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476

Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROFº REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

**MUN.:** NOVO HAMBURGO

**EST.:** RS

**LOC.:** -

**Data de entrada:** 24/10/22

**Data de expedição:** 09/11/22

**Nº DE REG.:** T-040/2022

**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA

**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO D-40% RAVF /10% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 04	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	35	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,0	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,7	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,07	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,08	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,16	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	36	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	105	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	15	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**LAUDO DE ANÁLISES****NOME:** PROFº REJANE TUBINO - CARLOS ATALA**MUN.:** NOVO HAMBURGO**EST.:** RS**LOC.:** -**Data de entrada:** 24/10/22**Data de expedição:** 09/11/22**Nº DE REG.:** T-040/2022**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO E-50% RAVF /00% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 05	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	47	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,0	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,25	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,8	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,13	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,09	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	6	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	45	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	214	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	28	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	20	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011476  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## Anexo G – continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

**MUN.:** NOVO HAMBURGO

**EST.:** RS

**LOC.:** -

**Data de entrada:** 24/10/22

**Data de expedição:** 09/11/22

**Nº DE REG.:** T-040/2022

**MATERIAL:** PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA

**IDENTI. DA AMOSTRA:** TRATAMENTO F-00% RAVF /50% DE SUBSTRATO/ 50% RSO

Determinações	Amostra 06	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Matéria seca - % (m/m)	26	-
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,2	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,26	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	4,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,07	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,3 mg/kg
Zinco total - mg/kg	58	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Ferro total - mg/kg	81	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Manganês total - mg/kg	16	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Boro total - mg/kg	9	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca.

  
 Eng. Agr. Clesio Gianello  
 CREA RS011476  
 Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO H – Análise físico-química do resíduo urbano domiciliar

**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-D281</i>	1,0205 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 16/07/2021
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Método de Laje de Reser</i>	0,3 %	0,01% (*LD) 18/07/2021
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 de 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.

## ANEXO I – Análise físico-química das pontas da ponta de podas de árvores e folhas secas



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

### LAUDO DE ANÁLISES

NOME: PROF<sup>o</sup> REJANE TUBINO - CARLOS ATALA

MUN.: NOVO HAMBURGO

EST.: RS

LOC.: -

Data de entrada: 30/08/21

Data de expedição: 28/09/21

Nº DE REG.: R-111/2021

MATERIAL: PONTA DE PODAS DE ÁRVORE E FOLHAS SECAS

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	50	gravimetria / -
pH	6,8	relação amostra/água 1:5/potenciometria
Densidade - kg/m <sup>3</sup>	182	-
Carbono orgânico - % (m/m)	40	combustão úmida/Walkley Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	0,78	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,14	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,98	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,57	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,15	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,12	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	3	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 0,8 mg/kg
Zinco total - mg/kg	194	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,18	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	60	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	230	digestão úmida nitrato-perclórica/ ICP-OES / 16 mg/kg
Boro total - mg/kg	6	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Análises realizadas em material seco a 65°C e resultados expressos em base seca, com exceção da umidade, pH e densidade.

Obs.: Média de 2 determinações.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello  
CREA RS011478  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO J – Análise físico-química do composto orgânico da compostagem com sistema automatizado



### RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81655

**Cliente:** PADILHE ATATI & HIRALDO HILBERT  
**Endereço:** RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
**Cidade:** PORTO ALEGRE/RS

#### Dados da Amostra

**Identificação:** RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO + FODAS DE ÁRVORES E FOLHAS SECAS  
**Recebimento:** 29/10/2021 às 16:16 H.

#### Dados da Coleta

**Responsável:** Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

### RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
<b>Ársênio</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
<b>Boro</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Arometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
<b>Cádmio</b> U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
<b>Calcio</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	4919,5 ppm	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
<b>Capacidade de Troca Catiônica (CTC)</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	385,1 mmolo/kg	0,1 mmolo/kg (*LD) 08/11/2021
<b>Carbono Orgânico</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	10,8 %	0,01% (*LD) 08/11/2021
<b>Chumbo</b> U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01ppm (*LD) 08/11/2021
<b>Cianetos</b> Titulometria	3051,7 mg/kg	0,01mg/kg (*LD) 08/11/2021
<b>Cobalto</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
<b>Cobre</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
<b>Condutividade</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Condutimetria	2,6 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 08/11/2021
<b>Cromo Total</b> U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01ppm (*LD) 08/11/2021
<b>Densidade</b> ASTM-D991	0,9162 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 08/11/2021
<b>Enxofre</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário	0,14 %	0,01% (*LD) 08/11/2021
<b>Ferro</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	149,5 mg/Kg	0,000001 mg/Kg (*LD) 08/11/2021
<b>Fósforo Total em P2O5</b> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Químico	0,17 %	0,01% (*LD) 08/11/2021

(\*LD) = limite de detecção

Página: 1 de 2 do R.E.: 81655

## Anexo J – continuação



## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Magnésio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica	421,9 ppm	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
Manganês MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	44,2 ppm	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
Matéria Orgânica Total Gravimetria	21,76 %	0,1 % (*LD) 08/11/2021
Mercurio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,0006 ppm (*LD) 01/11/2021
Molibdênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 09/11/2021
Níquel MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney	1,08 %	0,01% (*LD) 08/11/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	4,53	0,01 (*LD) 08/11/2021
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	10,0	10/11/2021
Selênio U.S.EPA. Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VCA	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 01/11/2021
Sódio Espectrofotometria de Absorção Atômica	1439,3 mg/kg	0,0208mg/kg (*LD) 04/11/2021
Temperatura Termometria	22,5 °C	0,1 °C (*LD) 08/11/2021
Umidade a 85°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	75,42 %	0,01% (*LD) 08/11/2021
Zinco MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	28,3 ppm	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021

(\*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 10 de novembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
CRO 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra enviada.

As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.

Na declaração de 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 emissor.

## ANEXO J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81901

Cliente: CARLOS ATAI & HÍDRI CO HÍDRI  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO + PODA DE ÁRVORE + FOLHAS SECAS  
 Recebimento: 11/11/2021 às 15:51 H.

## Dados da Cólata

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
PH(1:5 em sol. CaCl2 0.01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (11/10/2017) - Método Potenciométrico	8,05	0,01 (*LD) 22/11/2021
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (11/10/2017) - Método Gravimétrico (*LD) = Limite de Detecção	66,17 %	0,01% (*LD) 22/11/2021

Porto Alegre, 22 de novembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
 CRO 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra enviada.

As análises foram realizadas nas instalações do Laboratório Pro-Ambiente.

Na declaração de 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 emissor.

## ANEXO J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81902

Cliente: CARLOS ATALL & HENRIQUE HEILZIN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO + PODA DE ÁRVORE + FOLHAS SECAS  
 Recebimento: 11/11/2021 às 15:51 H.

## Dados da Cliente

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	9,5 %	0,01% (*LD) 22/11/2021
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lista de Raney	0,47 %	0,01% (*LD) 22/11/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	7,9	0,01 (*LD) 22/11/2021
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	21,1	22/11/2021
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrica (*LD) = Limite de Detecção	79,88 %	0,01% (*LD) 22/11/2021

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 de 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.

## Anexo J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82218

Cliente: CADINOS ATATI & HINELGONHEWYN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO + FOLHAS SECAS + PODAS DE ÁRVORE  
 - AMOSTRA DA 2ª CLASSE  
 Recebimento: 29/11/2021 às 08:54 H.

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,71	0,01 (*LD) 02/12/2021
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	68,96 %	0,01% (*LD) 02/12/2021

(\*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 06 de dezembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
 CRO 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra enviada.  
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pro-Ambiente.  
 Na declaração de 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 emissor.

## Anexo J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82219

Cliente: CABRYS ATALLA HIBRIDO HILBERTIN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO + PODA DE ÁRVORE + FOLHAS SECAS  
 AMOSTRA Nº 3

Recebimento: 29/11/2021 às 08:54 H.

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	6,9 %	0,01% (*LD) 06/12/2021
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método da Língua de Bode	0,47 %	0,01% (*LD) 06/12/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	6,73	0,01 (*LD) 06/12/2021
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	14,7	---
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	81,47 %	0,01% (*LD) 06/12/2021

(\*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 enviada.  
 As análises foram realizadas nas instalações do Laboratório Pro-Ambiente.  
 Na declaração de 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.

## Anexo J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82950

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Solicitante: SR CARLOS  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO + PODA DE ÁRVORE + FOLHAS SECAS  
 - DATA DE COLETA 26/12/2021 - ENTREGA: 27/12/2021 - AMOSTRA C/ 302g  
 Data de envio: 27/12/2021 às 10:54 H

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	12,2 %	0,01% (*LD) 04/01/2022
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Micro Método da Lupa de Raney	1,1 %	0,01% (*LD) 06/01/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,45	0,01 (*LD) 05/01/2022
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	11,1	--- 06/01/2022
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	62,7 %	0,01% (*LD) 04/01/2022

(\*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 06 de janeiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
 CRO 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra enviada.

As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pro-Ambiente.

Na declaração de 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 emissor.

## Anexo J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 83243

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Solicitante: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDÓ, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RSU + PODA DE ARVORE - DATA DE COLETA: 09/01/2022 - ENTREGA: 10/01/2022 - AMOSTRA C/  
 6160  
 Data de recebimento: 10/01/2022 às 18:13 H

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MMPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,11	0,01 (*LD) 17/01/2022
Umidade a 65°C MMPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	63,35 %	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 de 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.

## ANEXO J – Continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 83704

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO + PODA DE ÁRVORE - DATA DE COLETA  
 27/01/2022 (massa amostra= 440g)  
 Recebimento: 27/01/2022 às 14:13 H

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	14,4 %	0,01% (*LD) 01/03/2022
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Micro Método da Lupa de Raney	1,0 %	0,01% (*LD) 01/03/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,72	0,01 (*LD) 31/01/2022
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	14,4	--- 03/03/2022
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrica	59,26 %	0,01% (*LD) 03/03/2022

(\*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 enviada.  
 As análises foram realizadas nas instalações do Laboratório Pró-Ambiente.  
 Na declaração de 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.

## ANEXO J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 84064

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Solicitante: CARLOS  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RSU + PODA DE ARVORE - DATA DE COLETA: 10/02/2022 - AMOSTRA C/ (massa da Amostra=300g)  
 Recebimento: 10/02/2022 às 17:55 H.

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
PH(1:5 em sol. CaCl <sub>2</sub> 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,36	0,01 (*LD) 21/02/2022
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico	51,25 %	0,01% (*LD) 21/02/2022

(\*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 21 de fevereiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
CRO 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.  
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.  
 Na declaração de 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.

## ANEXO J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 84604

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Solicitante: SR CARLOS  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

**Dados da Amostra**

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO URBANO + PODA DE ARVORE - DATA DE COLETA 25/02/2022 - HORÁRIO 10:55  
 Recebimento: 25/02/2022 às 13:00 H.

**Dados da Coleta**

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	24,0 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Nitrogênio Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lupa de Raney	1,8 %	0,01% (*LD) 04/03/2022
PH(1:5 em sol. CaCl <sub>2</sub> 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico	8,93	0,01 (*LD) 08/03/2022
Relação Carbono/Nitrogênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	13,3	--- 08/03/2022
Umidade a 65°C MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrica	26,14 %	0,01% (*LD) 07/03/2022

(\*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 09 de março de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa  
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra enviada.  
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pro-Ambiente.  
Na declaração de 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 emissor.

## ANEXO J – continuação



## RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85234

Cliente: CARLOS ATALLA HIDALGO HIJAZIN  
 Endereço: RUA BUARQUE DE MACEDO, 317  
 Cidade: PORTO ALEGRE/RS

## Dados da Amostra

Identificação: RSU + Poda de árvore + Folhas de árvores. Data de Coleta: 21/03/2022  
 Recebimento: 22/03/2022 às 07:38 H.

## Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

## RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Calcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	8277,7 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 01/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	1,12 %	0,01% (*LD) 31/03/2022
Densidade ASTM-D291	0,2661 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 31/03/2022
Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> ) Espectrofotometria de Absorção Atômica/Calculo	Não detectado	0,01% (*LD) 29/03/2022
Enxofre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário	0,2 %	0,01% (*LD) 01/04/2022
Ferro Total MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	794,8 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 28/03/2022
Fósforo Total em P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimocloro	1,07 %	0,01% (*LD) 31/03/2022
Magnésio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica	6319,5 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 01/04/2022
Mangânese MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	95,2 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 28/03/2022
Potássio em K <sub>2</sub> O Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetraetilborato de Sódio	3,56 %	0,01% (*LD) 31/03/2022
Zinco MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método EAA	74,8 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 28/03/2022

(\*LD) = Limite de Detecção

## RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limites Data do Ensaio
Coliformes Termotolerantes Instrução Normativa nº30/2018 MAPA	Ausentes	--- 25/03/2022
Salmonella spp. ISO 6579:2017	Ausentes	--- 25/03/2022