

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

***MAILA ARTICO***

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS ATRAVÉS DO USO INTEGRADO  
DE LODO DE ESGOTO E REJEITO DE MINERAÇÃO DE BASALTO COMO  
SUBSTITUTO AO SOLO DE COBERTURA**

**Porto Alegre**

**2018**

**MAILA ARTICO**

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS ATRAVÉS DO USO INTEGRADO  
DE LODO DE ESGOTO E REJEITO DE MINERAÇÃO DE BASALTO COMO  
SUBSTITUTO AO SOLO DE COBERTURA**

*Dissertação submetida ao programa  
de Pós Graduação em Engenharia de  
Minas, Metalúrgica e de Materiais da  
Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul, como requisito à obtenção  
do título de Mestre em Engenharia  
na modalidade acadêmica.*

*Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rejane Maria Candiota Tubino*

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

**Área de Concentração:**

**Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa**

**Porto Alegre**

**2018**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor (a): Jane Fraga Tutikian

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Vice-Diretor (a): Carla Schwengber ten Caten

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

Coordenador: Carlos Pérez Bergmann

Coordenador substituto: Afonso Reguly

---

A791r Artico, Maila

Recuperação de áreas degradadas através do uso integrado de lodo de esgoto e rejeito de mineração de basalto como substituto de solo ao cobertura / Maila Artico. – 2018.

121 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – 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, 2018.

Orientadora: Rejane Maria Candiota Tubino.

Coorientadora: Beatriz Alicia Firpo Vasquez.

1. Recuperação de área degradada. 2. Lodo de esgoto. 3. Rejeito de mineração. I. Tubino, Rejane Maria Candiota, orient. II. Vasquez, Beatriz Alicia Firpo, coorient. III. Título.

CDU: 624.13 (043)

---

**MAILA ARTICO**

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS ATRAVÉS DO USO INTEGRADO  
DE LODO DE ESGOTO E REJEITO DE MINERAÇÃO DE BASALTO COMO  
SUBSTITUTO AO SOLO DE COBERTURA**

**Esta dissertação foi analisada e aprimorada para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade acadêmica, e aprovada em sua forma final pela Orientadora, Coorientadora 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.**

---

Rejane Maria Candiota Tubino

---

Carlos Pérez Bergmann

Aprovada em: 16/04/2018  
**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

---

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

Dedico este trabalho aos que me auxiliaram, em especial à Dr<sup>a</sup> Beatriz Firpo, à Eng. Karine e à Prof. Dr<sup>a</sup> Rejane Tubino, por aceitar este desafio, por todos seus ensinamentos, e por todas as contribuições, caso contrário, este trabalho não teria evoluído.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/Escola de Engenharia /PPGE3M pela oportunidade de aprendizado.

Ao LTM e LEAMet pela disponibilização de materiais e equipamentos.

À orientadora Dr<sup>a</sup> Rejane Maria Candiota Tubino pela orientação, acolhida e auxílio.

À coorientadora Dr<sup>a</sup> Beatriz Firpo pelo apoio incondicional, valiosas contribuições, paciência e pela generosidade por dividir seu conhecimento.

À COMUSA, pela disponibilização de amostras pertinentes a este trabalho.

Ao colega e amigo Valtemir Goldmeier por me proporcionar o primeiro contato com a UFRGS e com a minha então orientadora.

À agora Engenheira Ambiental Karine Batista que me auxiliou na montagem e cuidado do experimento.

Ao meu irmão Leonardo L. Artico pela lapidação final, que foi extremamente importante.

A todos da DMIN/FEPAM pelo apoio.

À minha família, Mãe, Pai, Leo e Dudu, pela base.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“É preciso, antes de mais nada, querer.”*

Amyr Klink

## RESUMO

A mineração altera as condições ambientais naturais. Uma alternativa estudada para a recuperação de áreas degradadas é o uso de lodo de esgoto (LE) gerado por estações de tratamento de esgoto (ETE). Desse modo, o presente trabalho avaliou o uso integrado de rejeito de mineração de basalto (RM) e resíduo de saneamento (lodo de esgoto) como substituto ao uso de solo de cobertura (SC) durante a recuperação ambiental de pedreiras. Um experimento *ex situ* foi montado no Centro de Tecnologia/UFRGS, conferindo-se a adição de LE ou SC a RM e comparado à utilização de SC por meio de análises de fertilidade de solos e plantio de gramínea (*Avena strigosa*) como variáveis respostas. Amostras de RM e de SC foram obtidas em pedreira de basalto em Novo Hamburgo-RS e o LE, em uma ETE no mesmo município. Inicialmente RM, SC e LE foram caracterizados em termos de teor de matéria orgânica (MO) para definição dos tratamentos. O LE foi caracterizado conforme CONAMA 375/2006. O delineamento experimental consistiu em 5 tratamentos (misturas) e 5 blocos: (A) RM (0,1% MO), (B) RM + LE (1,8% MO), (C) RM + SC (1,8% MO), (D) SC (3,2% MO) e (E) RM + LE (3,2% MO). Os tratamentos foram submetidos à caracterização química (pH, macro e micronutrientes) e granulometria. Paralelamente, semeou-se aveia preta (*Avena strigosa*) a qual foi coletada, seca e pesada durante a conclusão do ciclo vegetativo; a massa seca e o teor de nutrientes em tecido foliar foram comparados. Resultados mostram baixo teor de MO em RM (0,1%), diferentemente do SC (3,2%) e do LE (15,1%). O LE cumpre os parâmetros impostos pela legislação. A granulometria dos tratamentos A, B e E, foi caracterizada como arenosa e dos tratamentos C e D como média. As misturas com RM + LE com 1,8 e 3,2% de MO apresentaram níveis adequados de pH, micro e macronutrientes, o que refletiu na maior produção de matéria seca e teores de nutrientes no tecido foliar dos tratamentos B e E. Verificou-se que a mistura de LE e RM possui vantagens em termos de produção de matéria seca quando comparado ao SC, mostrando que o uso integrado de LE e de RM, na forma proposta, pode ser usado como material substituto ao uso de SC para recuperação de áreas degradadas, contribuindo ainda, na disposição final destes materiais.

**Palavras-chave:** Recuperação de área degradada. Lodo de esgoto. Rejeitos de mineração de basalto. Cobertura Vegetal. Novo Hamburgo.



## ABSTRACT

Mining impacts natural environmental conditions. A widely studied alternative to address environmental restoration in degraded areas is the use of sewage sludge (LE), which is a byproduct of urban sewage treatment plant (ETE). In this context, the present study evaluated the integrated use of basalt quarry waste (RM) and sewage sludge (LE) as a substitute for natural soils (SC) during quarry environmental restoration. An *ex situ* experiment was installed at the Technology Center of UFRGS in which LE or SC were mixed to RM and compared to the use of SC through soil fertility analysis and grass growth (*Avena strigosa*) as dependent variables. RM and SC samples were collected at a basalt quarry in the city of Novo Hamburgo-RS, and LE at an ETE in the same city. Initially, RM, SC and LE were characterized in terms of organic matter content (MO) which was used for the definition of treatments. The LE was characterized according to CONAMA 375/2006. A completely randomized design experiment was used, including five treatments (mixtures) and five blocks: (A) RM (0.1% MO), (B) RM + LE (1.8% MO), (C) RM + SC (1.8% MO), (D) SC (3.2% MO) e (E) RM + LE (3,2% MO). Chemical (pH, macro and micronutrients) and particle size distribution characterization analysis were performed in all soil mixture treatments. In parallel, black oat (*Avena strigosa*) was sown in all treatments which was cut, dried and weight near to its vegetative cycle conclusion; dry mass production and nutrients in plant tissue were compared. Results showed low MO in RM (0.1%) differently from SC (3.2%) and LE (15.1%). LE is in accordance with CONAMA legislation. Texture of treatments A, B and E was characterized as coarse and in treatments C and D as medium. Mixtures containing RM + LE with 1.8% and 3.2% MO had adequate pH and micro and macronutrient content, what is supported by the highest dry mass production in the B and E treatments. It was verified that the addition of LE to the RM leads to better outcomes in terms of dry mass production when compared to SC. Results show that as proposed, the integrated use of LE and RM can be used as an alternative for SC use in environmental restoration, also contributing to these materials' disposal.

**Keywords:** Recovery of degraded area. Sewage sludge. Basalt mining tailings. Vegetal cover. Novo Hamburgo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista do interior da cava de uma pedreira de basalto (A) e, vista da bancada superior (B), retratando o impacto visual causado .....	23
Figura 2 - Material estocado em pilha, oriundo do decapeamento de área de mineração (A) e, outro depósito de solo de cobertura, com presença restrita de vegetação herbácea (B) .....	24
Figura 3 - Sucessão de bermas e taludes e a espessura da camada de solo de cobertura.....	28
Figura 4 - Bermas sendo revegetadas .....	30
Figura 5 - Elementos constituintes do solo .....	32
Figura 6 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação .....	44
Figura 7 - Fluxograma demonstrando a primeira etapa do experimento – ensaios de caracterização	47
Figura 8 - Fluxograma demonstrando a segunda etapa do experimento .....	48
Figura 9 - Mapa geológico do local e imagem aérea obtida do Google Earth.....	49
Figura 10 - Destaque dos locais de coleta do RM (em vermelho) e SC (em amarelo) .....	49
Figura 11 - Coleta de rejeito oriundo de pedreira de basalto (A), vista geral da pilha de rejeito da mina (B), coleta de solo de cobertura (C) e materiais acondicionados em sacos (D).....	50
Figura 12 - Material sendo homogeneizado (A), sequência do processo de homogeneização (B), material sendo quarteado (C), coleta da amostra para submeter à análise (D) .....	50
Figura 13 - Imagem aérea da ETE de Novo Hamburgo .....	52
Figura 14 - ETE onde o LE foi coletado (A), leitos de secagem e caçambas carregadas de LE para serem destinadas (B), coleta do LE nas caçambas (C), material com menor teor de umidade (D) ....	52
Figura 15 - Material sendo homogeneizado (A), amostra preparada para quarteamento (B), amostra de lodo para análise (C) com identificação para ser enviada ao laboratório (D) .....	53
Figura 16 - Esquema de disposição das unidades experimentais.....	55
Figura 17 - Rejeito de mineração, solo de cobertura e lodo de esgoto expostos à secagem .....	56
Figura 18 - Estufa a 60 °C (A) e secagem do material no interior da estufa (B).....	57
Figura 19 - Pesagem do material para montagem dos vasos (A), unidades experimentais devidamente preenchidas com os materiais e identificadas (B).....	57
Figura 20 - Experimento instalado em 5 blocos e 5 linhas .....	58
Figura 21 - Crescimento vegetal antes do desbaste (A) repicagem, deixando as 10 plantas mais uniformes por vaso (B) .....	59
Figura 22 - Coleta da parte aérea (A), amostra sendo pesada após passar por secagem (B) .....	60
Figura 23 - Separação manual das raízes do tratamento com lodo a 3,2% MO (A), separação das raízes do tratamento com solo de cobertura (B) e, lavagem das raízes (C) .....	60
Figura 24 - Diagrama triangular simplificado, destacando o RM (em vermelho) e SC (em azul) .....	65
Figura 25 - Diagrama triangular simplificado, sendo que o destacado corresponde à textura do LE ..	69
Figura 26 - Diagrama triangular simplificado, sendo que o destacado em vermelho corresponde aos tratamentos A, B e E, já o destacado em azul os tratamentos C e D.....	71
Figura 27 - Comparação de médias do pH, Índice SMP, Al+H e CTC para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)* .....	73
Figura 28 - Relação média de macronutrientes e MO para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)* .....	75

Figura 29 - Comparação de médias dos micronutrientes Cu, Zn, Mn e B para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)* .....	77
Figura 30 - Crescimento vegetal das 25 unidades experimentais .....	78
Figura 31 - Comparação de médias da matéria seca foliar e radicular dos 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)* .....	79
Figura 32 - Comparação de médias da matéria seca total (foliar e radicular) e alturas totais dos 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)* .....	80
Figura 33 - Crescimento da aveia-preta nos 5 tratamentos: tratamento A (A), tratamento B (B), tratamento C (C), tratamento D (D) e tratamento E (E) .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Constituição dos tratamentos .....	54
Tabela 2 - Parâmetros analisados para RM e SC .....	64
Tabela 3 - Distribuição granulométrica do RM e SC.....	65
Tabela 4 - Concentração de elementos químicos em lodos de ETE brasileiras e restrições de uso...	66
Tabela 5 - Comparação dos parâmetros analisados para a amostra de lodo de N.H, com as concentrações máximas permitidas - CONAMA 420/2009.....	67
Tabela 6 - Comparação dos parâmetros Cu e Zn para os tratamentos B e E, com as concentrações máximas permitidas - CONAMA 420/2009 .....	68
Tabela 7 - Distribuição granulométrica do lodo de esgoto - LE .....	69
Tabela 8 - Análise microbiológica do lodo de esgoto e concentrações máximas permitidas.....	69
Tabela 9 - Distribuição granulométrica dos tratamentos A, B, C, D e E .....	70
Tabela 10 - Valores médios (n=5) para acidez, matéria orgânica, CTC, macronutrientes e micronutrientes nos tratamentos aplicados - A, B, C, D e E.....	72
Tabela 11 - Valores médios da análise de tecido vegetal nos 5 tratamentos propostos A, B, C, D e E .....	83
Tabela 12 - Valores individualizados para os 25 vasos, referentes à altura foliar e matéria seca .....	104
Tabela 13 - Comparação de médias (n=5) para o pH .....	105
Tabela 14 - Comparação de médias (n=5) para o índice SMP.....	105
Tabela 15 - Comparação de médias para a matéria orgânica - MO (%) .....	106
Tabela 16 - Comparação de médias (n=5) para o cálcio trocável ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ).....	106
Tabela 17 - Comparação de médias (n=5) para o magnésio trocável ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) .....	107
Tabela 18 - Comparação de médias (n=5) para o Al+H ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ).....	107
Tabela 19 - Comparação de médias (n=5) para a CTC ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) .....	107
Tabela 20 - Comparação de médias (n=5) para o CTC bases (%) .....	108
Tabela 21 - Comparação de médias (n=5) para o enxofre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) .....	108
Tabela 22 - Comparação de médias (n=5) para o zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) .....	108
Tabela 23 - Comparação de médias (n=5) para o cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) .....	109
Tabela 24 - Comparação de médias (n=5) para o boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) .....	109
Tabela 25 - Comparação de médias (n=5) para o manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).....	109
Tabela 26 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca foliar (gramas) .....	110
Tabela 27 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca radicular (gramas) .....	110
Tabela 28 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca total (gramas).....	110
Tabela 29 - Comparação de médias (n=5) para a altura foliar (centímetros).....	110
Tabela 30 - Valores da análise do tecido radicular dos 5 tratamentos propostos .....	116
Tabela 31 - Valores da análise do tecido foliar dos 5 tratamentos propostos .....	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANOVA	Análise de Variância
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Carbono Orgânico
COMUSA	Companhia Municipal de Saneamento de Novo Hamburgo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT	Centro de Tecnologia
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
LE	Lodo de Esgoto
LTM	Laboratório de Tecnologia Mineral
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria Orgânica
NBR	Norma Brasileira
NH	Novo Hamburgo
PIB	Produto Interno Bruto
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
RALF	Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado
RM	Rejeito de Mineração
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná

SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SC	Solo de Cobertura
UE	Unidade Experimental
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1. OBJETIVO GERAL .....	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1. PRÁTICAS DE MINERAÇÃO .....	19
2.1.1. Legislação e aspectos legais .....	19
2.1.2. Mineração no Brasil - pedreira de basalto .....	20
2.1.3. Áreas degradadas: alterações e impactos ambientais .....	22
2.2. PRÁTICAS DE RECUPERAÇÃO .....	25
2.2.1. Legislação ambiental e aspectos legais .....	25
2.2.2. Recuperação de áreas mineradas .....	27
2.2.3. Fertilidade do solo .....	31
2.2.4. Uso de lodo de esgoto na recuperação da fertilidade do solo .....	36
2.2.5. Legislação aplicada ao lodo de esgoto .....	40
2.2.6. Aspectos sanitários e riscos associados ao lodo de esgoto .....	42
2.2.7. Cenários da destinação do lodo de esgoto .....	43
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	47
3.1. REJEITO DE MINERAÇÃO E SOLO DE COBERTURA .....	48
3.1.1. Subamostragem .....	50
3.1.2. Caracterização .....	51
3.2. LODO DE ESGOTO .....	51
3.2.1. Subamostragem .....	53
3.2.2. Caracterização .....	53
3.3. COBERTURA VEGETAL .....	54
3.4. ÁREA EXPERIMENTAL .....	54
3.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	54
3.6. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	56
3.7. ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETAL .....	59
3.7.1. Coleta da parte aérea .....	59
3.7.2. Coleta do sistema radicular .....	60
3.8. FERTILIDADE DO SOLO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	61
3.9. AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS .....	61
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	63
4.1. REJEITO DE MINERAÇÃO E SOLO DE COBERTURA .....	63
4.1.1. Aspectos químicos .....	63
4.1.2. Análise granulométrica .....	64
4.2. LODO DE ESGOTO .....	65
4.2.1. Aspectos químicos .....	65
4.2.2. Análise granulométrica .....	68
4.2.3. Análise microbiológica .....	69
4.3. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS .....	70

4.3.1. Aspectos físicos .....	70
4.3.2. Aspectos químicos .....	71
4.4. ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETAL .....	78
4.4.1. Matéria seca vegetal .....	78
4.4.2. Análise química do tecido vegetal.....	82
5. CONCLUSÕES .....	88
6. TRABALHOS FUTUROS .....	89
REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICE A – Dados brutos do material vegetal .....	104
APÊNDICE B – Análises estatísticas.....	105
ANEXO A – Laudo da análise química do rejeito de mineração de basalto .....	111
ANEXO B – Laudo da análise química do solo de cobertura .....	112
ANEXO C – Laudo da análise química do lodo de esgoto .....	113
ANEXO D – Laudo da análise microbiológica do lodo de esgoto .....	114
ANEXO E – Análise química do tecido vegetal .....	116
ANEXO F – Laudo da análise química dos tratamentos .....	117



## 1. INTRODUÇÃO

A atividade minerária, por sua própria natureza, altera as condições naturais do ambiente. Os trabalhos de lavra iniciam-se com a pesquisa para a caracterização do corpo e qualidade do minério e se estendem até o beneficiamento e transporte dos materiais. A extração mineral, em todas as suas fases, provocam impactos no meio físico e biótico, acarretando em problemas sócio-econômicos. A intensidade desses impactos depende de fatores como o tipo de minério, técnicas de extração e beneficiamento, o que requer um aprimoramento de técnicas com intuito de recuperação ambiental (WILLIAMS *et al.*, 1997; CURI, 2017).

A maior parte da produção mineral brasileira é feita a céu aberto sendo pequena a quantidade de minas subterrâneas, fato este que acarreta maior impacto visual da paisagem em função do método de extração (CURI, 2017). A exemplo disso, o processo de mineração do basalto caracteriza-se pela retirada da vegetação, intensa movimentação das camadas superficiais do solo e geração de estéreis, rejeitos e outros substratos de difícil povoamento por plantas, demandando a execução de ações que auxiliem na recuperação das áreas mineradas (IBRAM, 2016).

A problemática da mineração de basalto na região sul do Brasil tem sido abordada nos últimos anos. Estudos conduzidos por Toscan e Kautzmann (2006) e Kautzmann *et al.* (2007), relatam que o material é extraído para a produção de agregados para construção civil e rochas ornamentais. Uma parcela significativa do material extraído é desperdiçada e depositada dentro da área da mina, como um passivo ambiental (CURI, 2017). Esse material já foi alvo de investigação em relação ao potencial poluidor como nanopartículas (DALMORA *et al.*, 2016) e também como mineralizador de solos (RAMOS, *et al.*, 2008; RAMOS, *et al.*, 2017). Neste trabalho, uma nova abordagem será dada. Os materiais desperdiçados e estocados em pilhas de rejeitos nos locais de extração serão empregados como um substrato para o crescimento vegetal que, em conjunto com lodo de esgoto, oriundo de estações de tratamento de esgoto, poderão ser um substituto ao solo local.

No Brasil, o primeiro dispositivo legal, visando minimizar os impactos negativos causados pela instalação e operação dos empreendimentos, foi a Lei nº 6.938, de 31/08/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. A partir de 1986, com a Resolução do CONAMA nº 01, estabeleceram-se os critérios

básicos e as diretrizes gerais para a avaliação de impactos ambientais como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, e suas correlações (BRASIL, 1981; CONAMA, 1986).

Muito embora a legislação ambiental contribua para impor novos processos que visam à recuperação ambiental, ainda existe carência no que diz respeito ao controle de ecossistemas degradados pelo processo de mineração (BITAR, 1997). Recomposições topográficas das áreas, drenagem e o plantio de espécies vegetais, constituem medidas que minimizam esses impactos. Entretanto, para isto, é necessário reestabelecer o equilíbrio dinâmico entre fauna, flora, solo e paisagem, através da implementação de medidas de recuperação (KOPEZINSKI, 2000).

Uma alternativa estudada para a recuperação de cobertura vegetal de diversas áreas degradadas é a utilização do lodo de esgoto (LE) gerado pelas estações de tratamento de esgoto - ETE - (TAMANINI, 2004). O uso desta metodologia vem ganhando destaque no meio científico/acadêmico, visto que expansão do saneamento no Brasil e nos demais países em desenvolvimento gera quantidades significativas de LE, o qual ainda não apresenta um destino correto de descarte ou reaproveitamento (BITTENCOURT, 2014).

O LE é um resíduo advindo das ETE, o qual é gerado no processo de tratamento. Esse material é bastante rico em matéria orgânica e nutrientes tornando-se adequado para aplicação nos solos (ANDREOLI, 1999). Quando devidamente higienizado, estabilizado e seco, o lodo de esgoto recebe o nome de biossólido (MELO e MARQUES, 2000). Os nutrientes presentes nesse material podem ser reciclados e devolvidos ao solo na forma de adubo, corroborando para um completo ciclo biológico (TAMANINI, 2004).

De acordo com Tsutiya *et al.* (2001), as aplicações do biossólido em áreas agrícolas, de florestas e também degradadas, podem melhorar as propriedades físicas do solo. Áreas degradadas se caracterizam por não fornecerem condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, visto que a falta de matéria orgânica, nutrientes e atividade biológica, bloqueiam o equilíbrio dos ecossistemas (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). Nesse sentido, a utilização do biossólido poderia contribuir no reestabelecimento da homeostasia desses ambientes, o que justificaria sua aplicação nestas regiões.

Sendo assim, em face à realidade supracitada, este trabalho visa contribuir com os estudos relacionados à recuperação de danos ambientais decorrentes das

atividades de mineração, através da otimização do uso do rejeito, convertendo-o em solo apto ao desenvolvimento vegetal, quando somado a resíduos de outros processos produtivos, neste caso o lodo de esgoto (LE). Para isso, foram traçados os seguintes objetivos:

### 1.1. OBJETIVO GERAL

Tem-se como objetivo geral, avaliar o uso integrado de resíduo de saneamento (lodo de esgoto) e rejeito de mineração de basalto como material substituto ao solo de cobertura na recuperação ambiental de áreas degradadas, utilizando gramínea forrageira (*Avena strigosa* Schreb.) como bioindicadora de resposta.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Vislumbrando este objetivo principal, faz-se necessário enumerar os objetivos específicos, que norteiam a sequência de desenvolvimento da pesquisa:

- Caracterizar os materiais, rejeito de mineração de basalto (RM), solo de cobertura (SC) e lodo de esgoto (LE) em termos de granulometria, teores de matéria orgânica e nutrientes;
- Propor diferentes razões entre os materiais (tratamentos) para identificação do melhor substituto ao solo nativo de cobertura;
- Conduzir crescimento vegetal nos diferentes tratamentos, através de experimento *ex situ*;
- Monitorar os parâmetros químicos de fertilidade (pH, macro e micronutrientes) e físicos nos tratamentos propostos, posterior ao cultivo vegetal;
- Avaliar e caracterizar o tecido vegetal obtido em termos de macro e micronutrientes e produção de matéria seca.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo irá tratar, de forma geral, sobre as práticas de mineração, abordando seus regramentos, atividades minerárias no Brasil, as alterações e impactos causados. Considerando os impactos gerados pela atividade, são debatidas as práticas de recuperação, legislação ambiental e seus aspectos legais, assim como fontes alternativas utilizadas na recuperação, sendo neste caso, o uso de lodo de esgoto.

### **2.1. PRÁTICAS DE MINERAÇÃO**

#### **2.1.1. Legislação e aspectos legais**

A atividade minerária é licenciada pelo órgão ambiental competente e, conforme o porte, potencial poluidor e localização do empreendimento, pode se dar na esfera federal (IBAMA), estadual (órgão estadual) ou municipal (órgão municipal).

A Lei Federal nº 9.314, de 14 de novembro de 1996, altera dispositivos e dá outras providências relacionadas ao Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, denominado de Código de Mineração, sendo que este regula os direitos sobre as substâncias minerais ou fósseis, encontradas na superfície ou no interior da terra formando os recursos minerais do País. Regula também o regime de aproveitamento e a fiscalização pelo Governo Federal, da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral. O Decreto-Lei nº 227/1967 dá nova redação ao Decreto-Lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940, Código de Minas (BRASIL, 1940; BRASIL, 1967; BRASIL, 1996).

Conforme Art. 20 da constituição federal, os recursos minerais, inclusive os do subsolo são bens da União (BRASIL, 1988), onde cabe a Agência Nacional de Mineração, órgão do Ministério das Minas e Energia, administrar e gerenciar esta atividade (BRASIL, 2017), em substituição ao antigo DNPM. Através da Lei nº 13.575/2017 foi criada a Agência Nacional de Mineração (ANM) que está assumindo as funções que eram exercidas, até então, pelo DNPM.

O ANM tem por finalidade promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais e superintender as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar,

controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais, os respectivos regulamentos e a legislação que os complementa (BRASIL, 2017).

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM) é a Instituição responsável pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul e, dentre outras, se baseia na resolução do CONSEMA nº 372 de 2018, que se refere a todas as atividades passíveis de licenciamento no estado, inclusive os de competência municipal, bem como, na CONSEMA nº 327 de 2016 que atua diretamente no licenciamento ambiental aplicado aos taludes finais de lavra de substâncias minerais para emprego imediato na construção civil, quando minerados em bancadas a céu aberto (CONSEMA, 2016; CONSEMA, 2018).

### **2.1.2. Mineração no Brasil - pedra de basalto**

A mineração compreende um conjunto de atividades destinadas a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar ou beneficiar e transformar recursos minerais de forma a torná-los benéficos econômicos e sociais (IBRAM, 2016).

Da mesma forma, Fontes (2016) cita que a indústria mineral é responsável pela prospecção, exploração, desenvolvimento, lavra, beneficiamento e fechamento de mina. Trata-se de uma das mais antigas atividades do ser humano, a qual foi considerada fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna.

Por ser seguramente uma das primeiras e mais constantes atividades organizadas da história da humanidade, a mineração contribui para o aperfeiçoamento de várias práticas e processos tecnológicos ao longo de toda história (CURI, 2017). Para o mesmo autor, a mineração foi o eixo central para o progresso da tecnologia industrial, dado que no século XVIII, a Revolução Industrial aumentou a demanda por minérios.

Aos agregados compostos de minerais ou associações de minerais intimamente unidos e de composição relativamente constante dá-se o nome de rocha (CURI, 2017). Rochas com minerais de interesse econômico são ditas jazidas minerais.

De acordo com Fontes (2016), as jazidas minerais têm sua formação ditadas por leis da natureza que nem sempre estão de acordo com as necessidades do empreendimento mineiro. A distribuição de variáveis representativas da qualidade do bem mineral de interesse, como granulometria, teor, nível do lençol freático e quantidade de estéril a remover definem se haverão ou não o aproveitamento econômico de um depósito mineral.

No Brasil, a predominância de lavra a céu aberto é absoluta, sobretudo, em virtude dos megaprojetos de minérios metálicos, principalmente minério de ferro. Os minérios podem ser explotados a seco ou via úmida por meio de métodos de lavra a céu aberto ou subterrâneo. Os principais métodos de lavra a céu aberto são aqueles de exploração a seco, qual seja: lavras por bancadas (*open pit mining*), lavra em tiras ou fatias (*strip mining* ou *open cast mining*) e lavras de pedreiras (*quarry mining*) (CURI, 2017).

Pedreira é a denominação usada popularmente no Brasil para designar minas que lavram rochas intactas de minerais não metálicos para uso na construção civil, produzindo materiais granulados, rochas ornamentais, pedras de revestimento e pisos (MMA, 2001; CURI, 2017).

Como qualquer jazida mineral, a localização de uma pedreira é determinada primeiramente pelas condições geológicas locais e pelas condições ambientais. A distância em relação ao mercado é outra variante fundamental, pois o custo de transporte é o maior valor dentre os impactantes no preço do produto (IBAMA, 1990; SILVA *et al.*, 2007; BROWN, 2011).

No Rio Grande do Sul (RS), as áreas com viabilidade para produção de brita a partir de basaltos ocorrem na porção norte da Região Metropolitana de Porto Alegre e coincidem com aquelas indicadas para produção de pedra de talhe. A maioria das áreas de mineração encontra-se instalada ao longo da borda dos derrames da Formação Serra Geral (SILVA e ZANINI, 2010).

De acordo com Silva e Zanini (2010), as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral são apropriadas para produção de brita e ocorrem na escarpa basáltica e normalmente são representadas por derrames pouco espessos, estruturalmente compactos, com predomínio de zonas de textura maciça. Acima destes maciços, encontram-se rochas alteradas e argila decorrente dos processos de intemperismo, forma do relevo e processos geológicos, que são conhecidos como “resíduos”.

Na geração de resíduos da mineração, destaca-se a existência dos resíduos sólidos de extração (estéril) e do tratamento/beneficiamento (rejeitos). O estéril é a rocha ou solo sem valor econômico extraído na operação de lavra que ocorre dentro ou fora do corpo do minério. A remoção de estéril é sempre requerida antes do início da extração do minério, sendo que este não passa por beneficiamento (DARLING, 2011). Já os rejeitos, são materiais sem valor econômico oriundos do processo de beneficiamento. Em geral, rejeitos exibem granulometria arenosa ou argilosa como resultado dos processos de britagem e moagem para liberação das partículas de minério (SILVA, 2007; CURI, 2017).

Particularmente importante no desenvolvimento de uma lavra a céu aberto, conforme definido por Fontes (2016), é a localização da pilha de estéril e de rejeito e respectiva reconstituição e reabilitação da área de lavra e de seu entorno, englobando a estocagem e conservação do solo retirado, para uso na recuperação ambiental, quando de sua presença.

O setor minerário exerce importante papel na economia brasileira, pois colabora para o aumento do produto interno bruto (PIB), assim como para geração de empregos diretos e indiretos (QUARESMA, 2009). Entretanto, esta atividade, juntamente com a agropecuária, são consideradas as principais responsáveis pela degradação ambiental, sendo a mineração responsável por uma degradação pontual e de grande magnitude e a agropecuária por uma degradação menos drástica, porém atingindo grandes extensões de terra (OLDEMAN, 1994).

### **2.1.3. Áreas degradadas: alterações e impactos ambientais**

As áreas degradadas caracterizam-se pela perda ou remoção do horizonte superficial do solo, o que ocasiona redução de nutrientes e de matéria orgânica, ausência de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, fatores que favorecem a atuação dos processos erosivos e a acidificação do substrato (MARX *et al.*, 1995), dificultando a fixação e desenvolvimento da vegetação (TSUTIYA, 2000).

Noffs *et al.* (2011) conceituam área degradada como um ambiente modificado por ações antrópicas ou submetido a processos erosivos intensos que alteraram suas características originais além do limite de recuperação natural dos solos.

Em meados da década de 90 foi realizada a estimativa da degradação de solos no mundo, publicado por Oldeman (1994). Os resultados mostraram que

aproximadamente 15% dos solos do mundo estavam degradados ou em processo de degradação, na época. Deste total, 1,2% está relacionado às atividades das indústrias de mineração, que ocupa o posto de segundo maior agente degradante, ficando atrás, apenas, da agropecuária, responsável pelos 98,8% restantes.

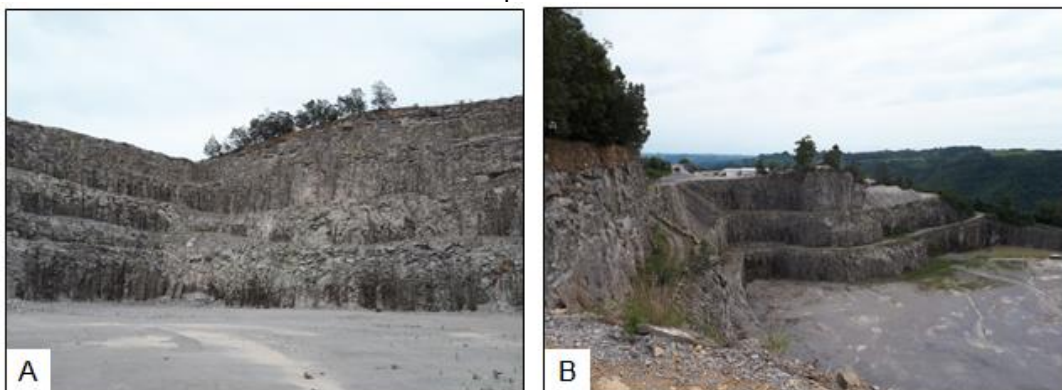
Um estudo mais recente, realizado pela FAO (2015), aponta que ameaças como erosão, compactação e perda da matéria orgânica, entre outros, atingem quase um terço das terras do planeta. Amplo estudo envolvendo 600 pesquisadores de 60 países mostrou que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados (FAO, 2015).

A atividade de mineração apresenta um grau de impacto ambiental de alta magnitude, e está entre os mais alterados pela atividade humana do planeta, devido às modificações físicas e bióticas provocadas nas áreas de influência direta e indireta do projeto (IBAMA, 1990; KOPEZINSKI, 2000).

O primeiro efeito visível da degradação de áreas mineradas é a poluição visual (Figura 1), sendo considerado como efeito de fácil constatação, principalmente em atividades extrativas a céu aberto (SILVA, 2007).

Na mineração a céu aberto, a superfície é completamente suprimida de vegetação e as camadas de solo e rochas são removidas, causando drásticas alterações no perfil do solo original, principalmente no que se refere à extração de basalto.

Figura 1 - Vista do interior da cava de uma pedreira de basalto (A) e, vista da bancada superior (B), retratando o impacto visual causado



Fonte: Autora, 2017

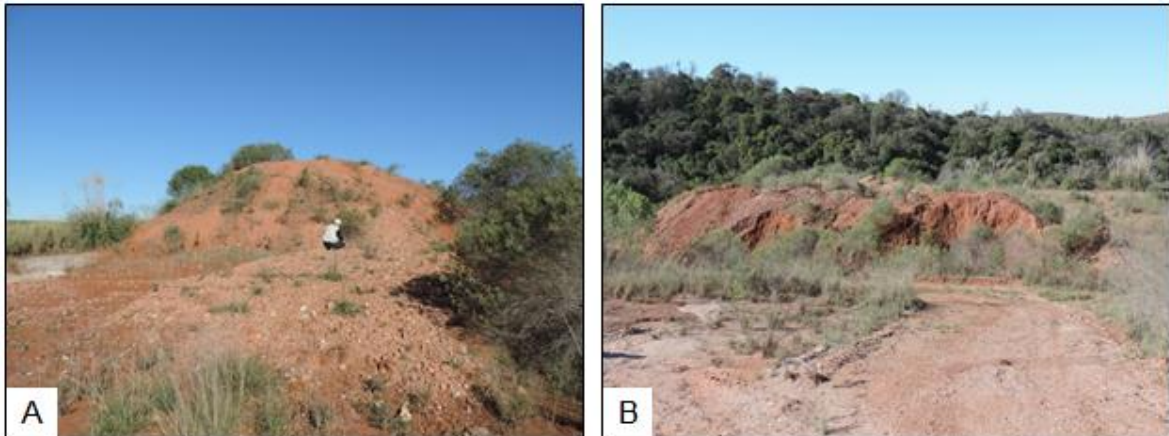
Os impactos ambientais relacionados às operações de mineração são diversos e ocorrem desde as etapas de pesquisa mineral até o encerramento das atividades quando se dá a desativação da mina (IBAMA, 1990). As principais



alterações à paisagem são provocadas na abertura das cavas, na disposição de material estéril proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016).

Durante o decapeamento, o material estéril e o solo orgânico devem ser estocados separadamente (Figura 2). O solo orgânico, quando presente, deverá ficar estocado próximo da área que irá receber os procedimentos de readequação topográfica e revegetação, ou seja, na frente exaurida. O material estéril deverá ser depositado na parte posterior ao avanço da lavra e distribuído de forma a readequar a topografia (PICARELLI *et al.*, 2002).

Figura 2 - Material estocado em pilha, oriundo do decapeamento de área de mineração (A) e, outro depósito de solo de cobertura, com presença restrita de vegetação herbácea (B)



Fonte: Autora, 2017

É comum existir a tendência de remover a camada fértil do solo de uma área não incluída nas operações do empreendimento minerário e usá-la como material de cobertura. Isso se dá, devido à falta deste material junto à atividade minerária ou também, negligência no momento de sua estocagem e conservação. Esta técnica deve ser evitada. Não se deve degradar uma área somente para resolver a falta de camada fértil de outra (IBAMA, 1990).

A recuperação da capacidade produtiva dos solos, conforme Abrahão e Mello (1998), está limitada a uma série de fatores naturalmente controlados pelas condições do ambiente. Os efeitos da adoção de técnicas convencionais restauradoras são muito variáveis e frequentemente apresentam altos custos e demanda de tempo elevado.

Desta maneira, é importante aprofundar os estudos na busca de materiais alternativos que possam ser usados no reestabelecimento da produtividade do solo de cobertura (solo fértil), ou até mesmo em sua substituição.

## 2.2. PRÁTICAS DE RECUPERAÇÃO

### 2.2.1. Legislação ambiental e aspectos legais

No Brasil, a introdução de uma Política de Proteção Ambiental deu-se, por intermédio da Lei n.º 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA. Essa Política se funda sobre alguns pilares básicos, concebidos como peças fundamentais na busca do equilíbrio ecológico e na manutenção da atividade econômica, a qual tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, sendo um de seus princípios a recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981).

O Artigo 3º inciso II da Lei Federal Lei n.º 6.938/1981 apresenta que a degradação da qualidade ambiental é a alteração adversa das características do meio ambiente (BRASIL, 1981), sendo regulamentado pelo Decreto 97.632 de 1989.

O Artigo 2º do Decreto 97.632 de 1989 considera como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais. Já seu artigo 3º trata da recuperação que tem por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (BRASIL, 1989).

É importante atentar ao comando constitucional disposto no §2º do artigo 225 que dispõe que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (BRASIL, 1988) e posteriormente regulamentado em nível federal (Decreto 97.632 de 1989) com a criação do plano de recuperação de áreas degradadas - PRAD - (BRASIL, 1989).

No Brasil, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado encontra seu fundamento normativo constitucional no Art. 225, com seus parágrafos e incisos. Nos termos dos incisos IV e VII do §1º do Art. 225 da Constituição Federal de 1988,

compete ao Poder Público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, assim como proteger a fauna e a flora, respectivamente (BRASIL, 1988).

Neste contexto, constitui referência a verificação de procedimentos relacionados ao licenciamento ambiental que é um dos principais instrumentos de gestão instituído pela PNMA, sendo que a Resolução CONAMA 237/1997 o define como um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras dos recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou que possam causar degradação (CONAMA, 1997). A exigência de licenciamento tem amparo na Constituição Federal e está regulada pela legislação ordinária.

A legislação federal brasileira menciona conforme o artigo 2º da Lei Federal 9.985 de 2000 que a recuperação “consiste na restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.” Desta forma, o processo de recuperação de áreas degradadas consiste em devolver às áreas mineradas sua capacidade de aproveitamento econômico e ambiental (BRASIL, 2000).

Para Kopezinski (2000), as atividades de recuperação ambiental deverão ser planejadas previamente à implantação de um empreendimento e, nesse planejamento, deverá constar um cronograma incluindo todas as etapas do empreendimento desde a sua implantação, operação e, no caso da mineração, seu fechamento visto que os recursos minerais não são renováveis e, conseqüentemente, as minas tem vida útil predefinida. Este planejamento se traduz através de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e, conforme a resolução CONAMA nº 237 de 1997 está previsto como parte integrante de estudos ambientais pertencentes ao processo de licenciamento ambiental.

No que tange ao PRAD, especificamente para o estado do RS, tem-se a Portaria FEPAM nº 03 de 2018, que estabelece critérios para o licenciamento de Projetos de Recuperação de Áreas Mineradas (FEPAM, 2018).

### 2.2.2. Recuperação de áreas mineradas

Existem áreas de difícil recuperação como as resultantes de mineração, podendo até haver a esterilização do solo com substâncias tóxicas; e outras áreas que podem ser facilmente recuperadas, como por exemplo, as áreas de empréstimo (REICHMANN NETO, 1992).

A recuperação de um sistema degradado tem como base restabelecer no solo condições tais que este possa cumprir os serviços desempenhados por qualquer sistema natural em equilíbrio (DIAS *et al.*, 2007).

Conforme Bian *et al.* (2010), em geral a recuperação de áreas mineradas segue três etapas: reconformação topográfica, estabelecimento de uma camada solo e replantio. A questão central da recuperação está em dois temas: tomar medidas que diminuam o impacto ambiental da mineração durante sua operação e tomar medidas que reconstituam ou recuperem o ambiente após a mineração. A definição prévia do uso futuro do local degradado, o planejamento para retirada da cobertura vegetal e da camada superficial do solo, o gerenciamento do relevo (paisagem), o método de lavra e a recuperação concomitantemente à exploração são medidas que reduzem os custos de recuperação, tornando a atividade mineradora menos nociva e mais rentável. A maioria dos órgãos ambientais exige a adoção destas práticas que são indicadas nos termos de referência para elaboração e execução de projetos de recuperação de áreas degradadas - PRAD - (CORRÊA, 2005).

A remoção, estocagem e utilização da camada orgânica do solo superficial, visa auxiliar nos trabalhos de revegetação, como na cobertura de áreas lavradas e pilhas de estéreis ou rejeitos, formando a base para a instalação subsequente de cobertura vegetal. Nas minas em que esta medida é aplicada plenamente, ou seja, estocando e utilizando a camada de solo retirada, os resultados são bastante satisfatórios em relação à instalação e desenvolvimento da vegetação (IBAMA, 1990; BITAR, 1997).

O armazenamento de solo de cobertura, durante a extração mineral, afeta suas propriedades físicas, químicas e biológicas (HUNTER e CURRIE, 1956; JOHNSON *et al.*, 1991). O período entre a remoção inicial do solo superior e a colocação final do mesmo sobre a área a ser recuperada pode ter um longo lapso de tempo. Assim, as propriedades do solo armazenado deterioram-se continuamente e

tornando-o biologicamente não produtivo se não for preservado corretamente (GHOSE, 2005).

O solo de cobertura é um produto escasso, e não é armazenado adequadamente na maioria das vezes. Além disso, em um clima tropical, onde 90% das chuvas são precipitadas dentro de três meses da estação chuvosa, o armazenamento do solo de cobertura e a preservação da qualidade, torna-se problemático. Por conseguinte, existe um elevado potencial de perda de N para o ambiente através da lixiviação e/ou desnitrificação (JOHNSON e WILLIAMSON, 1994).

Nas áreas mineradas, o teor de matéria orgânica e nutriente na camada superficial é baixo ou inexistente. A aplicação e incorporação de algum tipo de matéria orgânica (serrapilheira, compostos orgânicos, etc.) na superfície do solo podem acelerar o processo de revegetação destas (RIBEIRO, 2005).

Segundo Bitar (1997), o retaludamento e revegetação das áreas lavradas, caracterizam-se pela execução de cortes e aterros, nas frentes de lavra. O objetivo é gerar uma sucessão de bermas e taludes, seguidos de revegetação, visando especialmente à estabilização geotécnica dos terrenos lavrados e à atenuação do impacto visual (Figura 3).

Figura 3 - Sucessão de bermas e taludes e a espessura da camada de solo de cobertura



Fonte: Autora, 2017

Materiais minerados apresentam maior densidade, maior presença de cascalho e rocha, menor estruturação, menor porosidade, menor capacidade de

retenção de água, menor taxa de infiltração e menores teores de matéria orgânica (MO) do que solos não perturbados (SHRESTHA e LAL<sup>1</sup>, 2008 *apud* BORGES, 2013). Tais restrições físicas precisam ser mensuradas, corrigidas e monitoradas para não limitarem a revegetação na área minerada.

Mudanças no uso e no manejo do solo ou distúrbios que causem alterações nos agregados e sua estabilidade influenciam diretamente a qualidade do solo e sua capacidade de suportar o crescimento das plantas (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

A operação de mineração tende a misturar material de várias partes da coluna geológica, determinando uma mistura do material ao acaso, razão pela qual as propriedades dos solos após a mineração variam muito (DANIELS, 1996). Neste contexto, cabe ao minerador manejar o solo durante a operação da mina e mesmo posteriormente de forma a torná-lo apto a sustentar nova cobertura vegetal e atividade microbiológica (FIRPO, 2015).

A revegetação é um método que envolve desde a fixação localizada de espécies vegetais (herbáceas, arbustivas e arbóreas) até reflorestamentos extensivos, tanto para fins de preservação ou conservação ambiental (BITAR, 1997).

Para Fornasari Filho *et al.* (1986), a revegetação sempre desempenha papel importante, pois possibilita a restauração da produção biológica do solo, a redução e controle da erosão, a estabilização dos terrenos, proteção dos recursos hídricos e a integração paisagística.

Técnicas de revegetação também têm sido aplicadas e desenvolvidas em áreas de depósitos de rejeitos e estéreis, como os experimentos no uso de espécies herbáceas fixadas na área de mineração, visando o controle de processos erosivos (FORNASARI FILHO *et al.*, 1986).

A revegetação de solos construídos é uma importante estratégia de mitigação dos impactos negativos da mineração (FIRPO, 2015).

O sucesso da recuperação de uma área degradada está intimamente ligado às espécies utilizadas para recuperação. Espécies bem adaptadas e de rápido crescimento são fundamentais para a formação de coberturas vegetais, que diminuem as variações de temperatura do solo, retêm maior quantidade de água, diminuem a evaporação e o escoamento superficial e evitam processos erosivos (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

---

<sup>1</sup> SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Land use impacts on physical properties of 28 years old reclaimed mine soils in Ohio. **Plant Soil**, 306: 249 - 260, 2008.

A revegetação de bermas e taludes rochosos é uma medida que compreende o plantio de espécies vegetais nas bermas de bancadas de pedreiras. Tem a finalidade principal de atenuar o impacto visual ocasionado pela exposição das bancadas finais e, localmente, contribuir para a estabilização dos taludes rochosos. É executada pelo plantio de espécies herbáceas forrageiras e trepadeiras. Envolve a colocação de solo na superfície da berma de cerca de 30 cm de espessura (BITAR, 1997), conforme Figura 4.

Figura 4 - Bermas sendo revegetadas



Fonte: Autora, 2017

Para Ribeiro (2005), o processo de recuperação de áreas degradadas com espécies herbáceas nativas ainda é incipiente, tendo-se pouco conhecimento das exigências nutricionais das mesmas. Considerando a falta de opções, principalmente de espécies nativas forrageiras a serem usadas nessa etapa, são utilizadas espécies exóticas, buscando-se características como rusticidade e adaptação ao clima local (PICARELLI *et al.*, 2002).

Poaceae (gramíneas) é uma das maiores famílias dentre as Angiospermas e abrange espécies de importância fundamental, tanto como fonte de alimento para a humanidade e seus animais domésticos, quanto sob o ponto de vista ecológico. Ocorrem em praticamente todos os ecossistemas do planeta, tais como campos, banhados, desertos, florestas, planícies, montanhas e ambientes aquáticos, marinhos e de água doce (JUDD *et al.*, 2009).

A *Avena strigosa* S. (aveia preta) é uma espécie anual utilizada, no sul do Brasil, principalmente como forrageira e para cobertura do solo. É menos exigente em fertilidade, contudo altamente responsiva às adubações nitrogenada, fosfatada e potássica (FLOSS, 1988), podendo ser cultivada em quase todos os tipos de solos.

Assim, considerando o anteriormente exposto, verifica-se que a grande problemática da lavra de mineração de basalto está no expressivo impacto visual causado por esta atividade, aliado a falta de fertilidade dos solos, de material orgânico e de espécies nativas adaptadas para o estabelecimento da vegetação e consequente recuperação da área degradada.

### **2.2.3. Fertilidade do solo**

O principal desafio na agricultura moderna é manter e/ou aumentar a fertilidade do solo. Quando a fertilidade do solo é baixa, a produtividade das culturas é incrementada à medida que aumenta o uso de fertilizantes. O aumento no uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, em conjunção com outros insumos complementares, pode ajudar a reduzir os problemas ambientais pela elevação da produtividade das terras cultivadas e, assim, reduzir a pressão sobre as terras marginais, que são suscetíveis à desertificação e à erosão (FAGERIA *et al.*, 2006).

Segundo Silva *et al.* (2009), o solo é constituído de camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos, com diferentes espessuras, que constituem o denominado perfil de intemperismo. Pode ser definido como um conglomerado de corpos naturais ocorrendo na superfície terrestre, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar vegetação. É, portanto, a camada superficial da crosta terrestre em que se sustenta a vegetação; é formado por diversas partículas de rochas em diferentes estágios de decomposição, água e substâncias químicas dissolvidas, ar, organismos vivos e matéria orgânica (Figura 5).

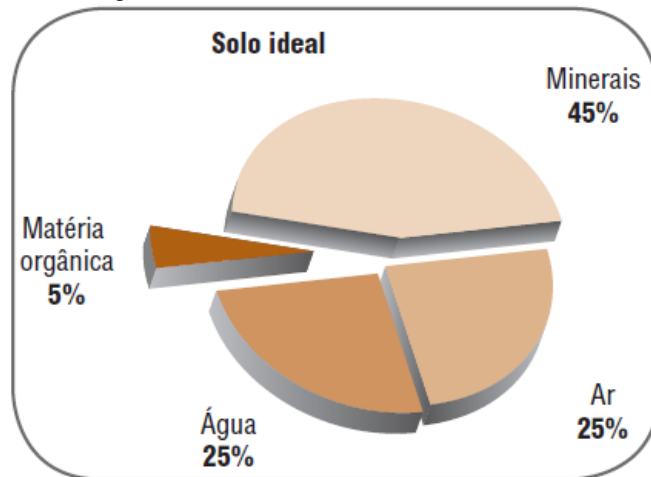
O solo não é apenas um material inerte que reflete a composição do material de origem, mas forma-se e desenvolve-se como resultado do efeito de fatores ambientais ativos, como clima e vegetação, sobre o material mineral, em um dado tempo (ANJOS *et al.*, 2008).

Conforme Sanchez (1981), os processos naturais de formação de solos partem de ação biológica sobre o material de origem. O processo é influenciado pelo clima e relevo locais, agindo ao longo do tempo e conferindo ao solo características



químicas e físicas próprias. Há, portanto, fluxos de matéria e energia. Para Carneiro (2008) e Firpo (2015), solos construídos ou em recuperação operam no sentido inverso: primeiro se corrigem os atributos físicos e químicos para, em seguida, recuperar os atributos biológicos. O tempo para estabilização dos mesmos pode variar de poucos anos a várias décadas dependendo do grau de degradação e do esforço nas ações de recuperação. A degradação, portanto, não é um processo irreversível, mas a recuperação de um solo degradado, onde houve perda importante de suas funções, é lenta, incerta e geralmente onerosa (NORTCLIFF, 2002).

Figura 5 - Elementos constituintes do solo



Fonte: SILVA *et al.*, 2009

Vários são os parâmetros considerados importantes em relação à fertilidade dos solos, dentre eles estão:

- Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo diz respeito ao número de cargas negativas que existe na superfície dos colóides e dá ideia de sua capacidade de adsorver nutrientes catiônicos das plantas, no caso de K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (magnésio). Funciona também como indicador do poder tampão do solo, ou seja, de sua capacidade de resistir às mudanças no pH. A matéria orgânica tem elevada CTC e, ao ser incorporada ao solo, tende a aumentar a sua CTC, que, contudo diminui com o tempo, em função da sua oxidação pelos organismos do solo (MELO *et al.*, 2001).

Os principais fatores que afetam a CTC do solo são textura, quantidade e tipo de argila e teor de matéria orgânica (FAGERIA *et al.*, 2006).

- pH

O conceito de pH indica a acidez ou a alcalinidade relativa da solução aquosa diluída no substrato. A importância do seu conhecimento está no fato deste se relacionar diretamente à disponibilidade de nutrientes, bem como, nas propriedades fisiológicas das plantas (KÄMPF, 2005).

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 pesados 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 (MELO *et al.*, 2001).

O pH atua sobre a abundância e a diversidade populacional de organismos vivos no solo, especialmente a bacteriana, repercutindo na redução das taxas de mineralização da matéria orgânica em ambiente ácido (ALCARDE *et al.*, 1992; UPJOHN *et al.*, 2005; LAUBER *et al.*, 2009; ROUSK, 2010). O pH também atua, indiretamente, sobre características físicas, ao agir sobre a estrutura dos minerais e matéria orgânica (GOLBERG e GLAUBIG, 1987).

- Carbono e matéria orgânica

De acordo com Oliveira Filho *et al.* (1987), a matéria orgânica (MO) é a principal responsável pela estruturação física de um solo, além de melhorar sua circulação de água e ar. Donahue *et al.* (1990) afirmam que a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes, como o nitrogênio, fósforo e potássio em solos não fertilizados.

Conforme Matos *et al.* (2008), a MO do solo é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados do solo, e a diminuição de seu conteúdo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo.

Segundo Sopper (1993), a matéria orgânica está relacionada com diversas características do solo que definem seu potencial produtivo e sua erodibilidade, tais

como: tamanho e estabilidade dos agregados, capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, densidade do solo, lixiviação, biomassa e atividade microbiana, mobilização de substâncias tóxicas, solubilização de nutrientes das partículas dos solos, além de ser fonte de macro e micronutrientes para os vegetais.

A aquisição de produtos ricos em MO representa uma alternativa viável a fertilizantes químicos tradicionais, devido ao seu baixo custo, sendo esta sua principal vantagem, além da alta capacidade de retenção de água e poder tampão (KÄMPF, 2005).

- Nutrientes

A planta retira do solo os elementos minerais indispensáveis para o seu desenvolvimento. Dezesesseis elementos químicos são chamados essenciais e são divididos em não minerais e minerais. Os nutrientes não minerais são: C, H e O, os quais são retirados da atmosfera e da água. Já os minerais são: N, P, K, como primários; Ca, Mg, S, como secundários; e B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, como micronutrientes. Os nutrientes adicionais são: Na, Co, V, Ni, Se e Si. Além desses elementos, a planta pode absorver outros elementos não essenciais como o Al, Ag, Cd, Cr, Hg, e Pb. A essencialidade dos elementos está ligada à sua participação insubstituível em processos metabólicos que ocorrem no citoplasma das células das plantas (DONAHUE *et al.*, 1990; TOMÉ, 1997; POTAFÓS, 1998; TSUTIYA *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2001).

Entre os macronutrientes está o N do solo, onde a maior parte encontra-se em forma orgânica (humo, proteínas, aminoácidos, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos), pouco absorvida pelas plantas, porém, esta é a única forma de armazenamento desse elemento no solo. Para ser assimilado pelas plantas, o N orgânico necessita passar por um processo de mineralização. A matéria orgânica representa um reservatório de N que nunca está completamente vazio e, outras vezes, suficientemente cheio para suprir as necessidades de máxima produção da maioria das culturas sendo considerada há milênios fonte de fertilidade para os solos (KIEHL, 1985; MELO *et al.*, 2001).

O nitrogênio é um nutriente com baixa disponibilidade no solo que, somada à grande demanda por parte dos vegetais, faz com que ele seja um dos nutrientes mais limitantes da produtividade da maioria das culturas (BARKER e BRYSON,

2006<sup>2</sup> *apud* BORGES, 2013). Assim, tendo em vista que os agregados desempenham papel relevante na proteção e na dinâmica da MO, eles também participam diretamente da disponibilidade de N para as plantas.

Quanto ao fósforo (P) os solos mais ricos são derivados de diabase e os mais pobres derivados de arenitos (MELLO *et al.*, 1985). A quantidade absorvida pelas plantas é baixa, dada à elevada capacidade de fixação do elemento pelos solos, tanto por precipitação quanto por adsorção, onde apenas 5 a 30% do total de P aplicado através de fertilizantes químicos são aproveitados pelas plantas (ANDREOLI *et al.*, 1997; TSUTIYA *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2001).

Já o teor de potássio (K) do solo pode chegar a mais de 1%, mas a maior parte dele se encontra em forma não disponível para as plantas, caso de minerais primários (feldspatos e as micas moscovita e biotita) e minerais secundários (ilita e vermiculita) (MELO *et al.*, 2001). Segundo Bissani *et al.* (2008), solos orgânicos, comparados aos minerais, são mais pobres em K.

A origem primária do cálcio (Ca) do solo está nas rochas ígneas, onde se encontra na forma de minerais como dolomita, calcita, apatita, feldspatos calcíticos e anfibólios. Através da intemperização, o Ca dos minerais é liberado na forma de  $\text{Ca}^{+2}$ , o qual pode permanecer na solução do solo, ser adsorvido ao complexo de troca catiônica (cálcio trocável), ou pelas plantas e organismos do solo ou ainda ser perdido por lixiviação (MELO *et al.*, 2001).

A origem do magnésio (Mg) do solo é muito semelhante a do Ca, sendo que os minerais primários que o contêm são biotita, dolomita, clorita, serpentina e olivina. Por intemperização desses minerais, o Mg é liberado na forma de cátion ( $\text{Mg}^{+2}$ ), que pode permanecer na solução do solo (Mg solúvel), ser absorvido por plantas e organismos do solo, adsorvido ao complexo de troca catiônica (Mg trocável) ou lixiviado para as camadas mais profundas do perfil do solo (ANDREOLI *et al.*, 1997; ANDREOLI *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2001).

Conforme Mello *et al.* (1985), o enxofre (S) é, talvez, o macronutriente menos empregado nas adubações, sendo que em solos normais 60 a 90% do S está ligado à matéria orgânica.

---

<sup>2</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.

Os micronutrientes são elementos que as plantas necessitam em quantidades muito pequenas, entretanto essenciais para o seu desenvolvimento. Micronutrientes metálicos que são essenciais para o crescimento das plantas são Fe, Mn, Cu e Zn. Esses micronutrientes estão disponíveis no solo devido à desintegração de minerais. Estes metais são mais solúveis em solução ácida, e eles se dissolvem para formar concentrações tóxicas que podem realmente prejudicar o crescimento de plantas (DONAHUE *et al.*, 1990).

- Textura

As partículas do solo apresentam diferentes granulometrias, variando de grandes grãos de areia a partículas de argila muito finas, as quais formam a textura do solo. As partículas do solo são agrupadas em três frações do solo, cada uma incluindo partículas que pertencem a uma determinada faixa de tamanho: areia (2 mm a 0,02 mm de diâmetro), silte (0,02 mm a 0,002 mm) e argila (abaixo de 0,002 mm). Essa propriedade física do solo não é alterada por práticas culturais ou de manejo. O solo pode ter classe textural argilosa, média ou arenosa (FAGERIA *et al.*, 2006; REICHERT e REINERT, 2006).

A granulometria do material de origem de um solo é o principal determinante da textura do mesmo (CAMARGO *et al.*, 1996). A textura afeta propriedades tais como a capacidade de troca de cátions (CTC), a sorção de íons, o teor de matéria orgânica (MO), a drenagem e a capacidade de retenção de água no solo (KAMPF e STRECK, 2010).

#### **2.2.4. Uso de lodo de esgoto na recuperação da fertilidade do solo**

O esgoto sanitário é recolhido por redes coletoras e conduzido até as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) onde vai receber tratamento conforme características e condições técnicas da ETE. O processo de tratamento dos esgotos tem como produtos finais: um efluente apto para reuso ou para ser descartado nos sistemas aquáticos e um resíduo semissólido chamado lodo de esgoto (MOLINA, 2004), cuja composição média aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.), e cuja disposição final

constitui um dos grandes problemas operacionais para essas estações de tratamento (ANDREOLI, 1999).

Conforme Molina (2004) o lodo é um material heterogêneo contendo, em quantidades variáveis, água, nutrientes, matéria orgânica, microrganismos e metais pesados. Quando devidamente higienizado, estabilizado e seco, o lodo de esgoto recebe o nome de biossólido (MELO e MARQUES, 2000).

Da mesma forma, a Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (USEPA), através da sua regulamentação (EPA, Part 503, 1995), define biossólido como um produto sólido orgânico gerado por processo de tratamentos dos esgotos municipais. Quando o lodo é resultante de sistema de tratamento biológico de despejos sanitários e condicionado de forma a apresentar características tais que permitem a sua utilização com segurança na agricultura, então passa a ser conhecido como “biossólido”.

Em uma definição bastante ampla, “biossólido se refere ao lodo de estação de tratamento de esgoto que foi adequadamente tratado por meio de processos de estabilização para reduzir a densidade de patógenos e a atração de vetores de acordo com critérios legais” (SILVIS ENVIRONMENTAL, 2008).

A geração do lodo é função principal do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Pode-se separar o tratamento de esgoto domiciliar em quatro níveis básicos: preliminar, tratamento primário e tratamento secundário que tem quase a mesma função, e tratamento terciário ou pós-tratamento. Cada um deles têm, respectivamente, o objetivo de remover os sólidos suspensos (resíduos sólidos, partículas minerais), remover os sólidos dissolvidos, a matéria orgânica, e os nutrientes e organismos patogênicos. Esses níveis de tratamentos são comuns ao Brasil e aos Estados Unidos (ALAMINO, 2010).

Segundo Pegorini (2002) o sistema de tratamento de esgoto predominante é o anaeróbio, utilizado em 98 % das ETE, e realizado através de reatores RALF (reator anaeróbio de lodo fluidizado). Este sistema possui baixo custo de implantação e manutenção e está presente, principalmente, nas ETE de pequeno e médio porte (com capacidade de projeto para até 50.000 habitantes).

Durante o tratamento da fase líquida há a geração de um material com elevado teor de umidade, cuja desidratação é necessária. As principais etapas do tratamento do lodo (fase sólida) são: adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento e disposição final. A implantação ou não de cada unidade vai

dependem das características do lodo gerado e do produto final que se queira obter, além dos custos (ANDREOLI *et al.*, 2001; TSUTIYA *et al.*, 2001).

A avaliação de alternativas para disposição final do lodo é normalmente complexa por envolver aspectos técnicos econômicos, ambientais e legais, que ultrapassam os limites da estação de tratamento. Contudo, práticas de disposição podem ser divididas em um uso benéfico devido às propriedades do produto como fertilizante (fornecendo MO, macro e micronutrientes) e condicionador (melhorando características físicas e químicas) dos solos.

Características químicas intrínsecas ao lodo de esgoto (biossólido) devem ser consideradas, principalmente no que se refere à presença de nutrientes e metais pesados, conforme descrito a seguir.

- Nutrientes

Os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo também provocando impacto direto no desenvolvimento e rendimento das plantas, sendo geralmente sua aplicação altamente benéfica. Além disso, elevada quantidade de matéria orgânica contida no biossólido pode aumentar o conteúdo de húmus no solo que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no mesmo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão, facilitando a penetração das raízes e a vida microbiana. A matéria orgânica fornece nutrientes para a planta e para os organismos do solo e atua como condicionador do solo, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas que em geral afeta positivamente o desenvolvimento das plantas. A presença destes elementos nos lodos depende do esgoto que lhe deu origem e do processo de tratamento de esgoto e do lodo (TSUTIYA *et al.*, 2001; ANDREOLI *et al.*, 2001; SILVIS ENVIRONMENTAL, 2008).

Ainda, de acordo com Shirota e Rocha (1997) e Melo e Marques (2000), o biossólido é capaz de alterar as propriedades físicas-químicas e biológicas do solo, melhorando sua densidade, porosidade e capacidade de retenção de água, propriedades estas que condicionam o solo para um melhor desenvolvimento das plantas, incentivando um crescimento vegetal mais rápido e denso.

A concentração dos nutrientes no biossólido varia conforme o tipo de esgoto e tratamento que recebe, sendo muitas vezes necessária a complementação com outras fontes de fertilizantes, orgânicos ou químicos, de acordo com as necessidades nutricionais específicas das culturas. De modo geral, apresenta quantidades apreciáveis de Cu, Zn e Mn e menores de B, Mo e Cl (ANDREOLI *et al.*, 2001; TSUTIYA *et al.*, 2001).

O biossólido é ainda um material rico em nitrogênio, fósforo e alguns micronutrientes, como é o caso do zinco, por exemplo (MELO e MARQUES, 2000; CORRÊA, 2003). Todavia, é deficiente em potássio, sendo indicada a sua complementação com fertilizante potássico quando esse elemento se encontra em baixa disponibilidade (ANDREOLI, 1999).

A aplicação de biossólido no solo pode melhorar o nível de fertilidade, podendo promover o aumento de pH, diminuição da acidez potencial, aumento da disponibilidade e reservatório de nutrientes como o Ca, Mg, S e outros em decorrência da lenta liberação dos mesmos através do processo de mineralização. Tem efeito sobre a capacidade de troca de cátions e na melhoria do poder tampão do solo (CARVALHO e BARRAL, 1981; ANDREOLI *et al.*, 2001; TSUTIYA *et al.*, 2001).

Os nutrientes encontrados em maior quantidade nos biossólidos são o N e o P, apresentado cerca de 1 a 6% de N (base seca) na forma orgânica e inorgânica, sendo o elemento de maior valor econômico no biossólido e do qual as culturas apresentam maior resposta (ANDREOLI *et al.*, 2001; TSUTIYA *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2001).

O efeito positivo da correção do pH do solo sobre o crescimento vegetal (cuja faixa ideal de pH encontra-se entre 5,5 e 7,0) dá-se pela redução do efeito tóxico do alumínio e manganês, aumento de cálcio e magnésio e disponibilização de fósforo e molibdênio. Também há aumento na CTC efetiva, o que contribui para a fixação de cátions básicos como o K<sup>+</sup> (TRUTER, 2002).

Assim como o biossólido apresenta características importantes e essenciais em termos nutritivos, também pode apresentar metais pesados em sua composição, conforme for sua origem.



- Metais Pesados

Para Adriano (1986), a definição de metais pesados é dada como um grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações que apresentam densidade igual ou acima de  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Já Melo *et al.* (1997) dizem que metal pesado é um termo genérico usado para classificar os elementos químicos tóxicos às plantas e animais.

Conforme Silva *et al.* (2001), entre todos os metais pesados presentes no lodo de esgoto, os elementos que oferecem perigo são o Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Zinco (Zn). Em muitos países, e mesmo no Brasil, a presença de metais pesados é um dos entraves mais fortes à reciclagem.

O bioossólido pode contribuir para a contaminação do solo com metais pesados. Esses metais são originários da atividade industrial, pois as estações de tratamento de esgotos recebem água de infiltração, esgoto industrial e sanitário. Os metais pesados não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, mas também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Para que os efluentes líquidos e os bioossólidos possam ser convenientemente destinados, é necessário uma caracterização dos mesmos e o estabelecimento dos limites dentro dos quais determinados constituintes podem ser aceitos (TSUTIYA *et al.*, 2001; ANDREOLI *et al.*, 2001), onde a Resolução CONAMA 375 de 2006 estabelece as concentrações máximas permitidas no lodo de esgoto para substâncias inorgânicas (CONAMA, 2006a).

### **2.2.5. Legislação aplicada ao lodo de esgoto**

No Brasil, como não havia, até o ano de 2006, uma resolução que estipulasse os códigos para o uso do lodo/bioossólido, alguns estados propuseram suas próprias normas e/ou manuais orientando a maneira adequada de realizar o uso agrícola do lodo de esgoto. Esse foi o caso de São Paulo, onde a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) estabeleceu em 1999 normas provisórias estaduais (Norma Técnica P4. 230) que regulamentam o uso agrícola de lodos resultantes de tratamentos biológicos, incluindo o lodo de esgoto; e do Paraná, onde

a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) elaborou e publicou Manuais Técnicos sobre o assunto (PIRES, 2003).

Nos EUA, a quantidade permitida de contaminantes no lodo de esgoto é regulamentada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), através da autoridade que lhe foi concedida pelo “Clean Water Act” (CWA) (Lei de Água Limpa), especificamente a CFR 40 Parte 503 que entrou em vigor em 1993 e que determina diretrizes para a redução de patógenos e impõe limites para a concentração de nove contaminantes inorgânicos, porém, não inclui regulamentação para os poluentes orgânicos em biossólidos (USEPA, 2009).

O regulamento norte americano foi tomado como base para a elaboração da maior parte dos critérios e procedimentos da Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006a) que normatiza o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETE brasileiras.

Esta resolução “define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”, a qual é complementada pela Resolução nº 380, publicada em novembro de 2006 (CONAMA, 2006a; CONAMA, 2006b).

No Brasil o termo “biossólido” não foi adotado na Resolução Conama 375/06 que regulamenta o uso agrícola do lodo de esgoto (CONAMA, 2006a). Assim, se utiliza o termo “lodo de esgoto” para todo tipo de lodo, mesmo quando processado de modo a garantir o uso seguro (BITTENCOURT, 2014).

Com a publicação da CONAMA 375/2006, os estados podem continuar seguindo normas próprias, desde que sejam mais restritivas que a norma federal, mas nunca mais permissivas.

A Resolução Conama 375/06 não é aplicável para utilização de lodo de esgoto em áreas degradadas, a qual não é enquadrada como uso agrícola de lodo de esgoto. Sendo assim, para este modo de destinação faz-se necessária a elaboração de projeto específico e de autorização ambiental do órgão ambiental estadual (BITTENCOURT, 2014).

Segundo Sampaio (2013), a Resolução Conama 375/06 adota diferentes metodologias para definição dos limites dos parâmetros inorgânicos. Para As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn adota a metodologia de análise de risco proposta pela CFR 40 Parte 503, enquanto para Cr, Ba e Mo utiliza metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O autor considera

inadequado o uso de metodologias diferenciadas para determinação de limites de concentração de substâncias inorgânicas no lodo, bem como, o estabelecimento de limites para todo território nacional (Cr, Ba e Mo) com base em valores de referências estabelecidos por meio de estudos de caracterização de solos do estado de São Paulo.

A regulamentação para dispor adequadamente os biossólidos deve estar de acordo com as condições ambientais, sociais e econômicas de cada região ou país. Os parâmetros internacionais devem servir de referência, contudo devem ser validados através de resultados experimentais que considerem as particularidades regionais, tais como o nível e o tipo de industrialização, o perfil sanitário da população e as características pedológicas regionais (SANTOS, 2001).

Nesse contexto, o estabelecimento, a constante revisão de normas regulando o uso agrícola de lodo de esgoto e a continuidade dos estudos envolvendo o tema é de grande importância para garantir que uma atividade considerada ambientalmente desejável não se torne prejudicial ao próprio meio ambiente e, conseqüentemente, ao ser humano.

#### **2.2.6. Aspectos sanitários e riscos associados ao lodo de esgoto**

O biossólido contém uma grande variedade de microrganismos. A maior parte deles não tem importância médica ou veterinária, pois são saprófitos e participam nos processos de tratamento biológico. Por outro lado, existe uma pequena parte, constituída por vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos que são patogênicos (SOCCOL e PAULINO, 2000).

A densidade de patógenos presentes no lodo é variável, pois está relacionado com as características da população e do tipo de tratamento de esgoto e do lodo. Entretanto, a simples presença desses patógenos no lodo não garante a infecção de humanos e animais devido à necessidade de uma dose mínima infectiva, exceto para os ovos de helmintos que necessita de apenas um ovo viável. Existem vários processos para a redução desses patógenos que podem ser utilizados com bastante eficiência. Os processos de redução de patógenos do biossólido são a compostagem, a secagem térmica, o tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, a irradiação, a pasteurização, dentre outros processos (TSUTIYA *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2001; CONAMA, 2006a).

Os ovos de helmintos e os coliformes fecais são utilizados com frequência como indicadores da sanidade do lodo (ANDREOLI e PEGORINI, 2000; SILVA *et al.*, 2001), considerando-se que uma vez controlados estes parâmetros, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente (ANDREOLI e PEGORINI, 2000).

Outro risco associado ao uso do lodo que deve ser levado em consideração são os metais pesados, originários da atividade industrial, pois as estações de tratamento de esgotos recebem água de infiltração, esgoto industrial e sanitário (TSUTIYA *et al.*, 2001), conforme retratado anteriormente.

Desta maneira, a prática do uso de lodo esgoto envolve alguns impactos ambientais negativos, que demandam controle estrito, pois estes poluentes podem ser transferidos ao solo, às plantas e às águas superficiais e subterrâneas, através de processos de escoamento superficial e lixiviação, podendo atingir diretamente o ser humano.

### **2.2.7. Cenários da destinação do lodo de esgoto**

A disposição final dos resíduos das estações de tratamento de esgotos é uma questão problemática mundial, com reflexos na disponibilidade e na qualidade da água para consumo humano e animal nas atividades econômicas (BETTIOL e CAMARGO, 2001). Segundo Funasa (2006), dispor adequadamente estes resíduos, reflete significativamente no setor econômico, visto que reduz os gastos com o tratamento de doenças, reduz o custo do tratamento da água de abastecimento, pois previne os mananciais e controla a poluição das águas.

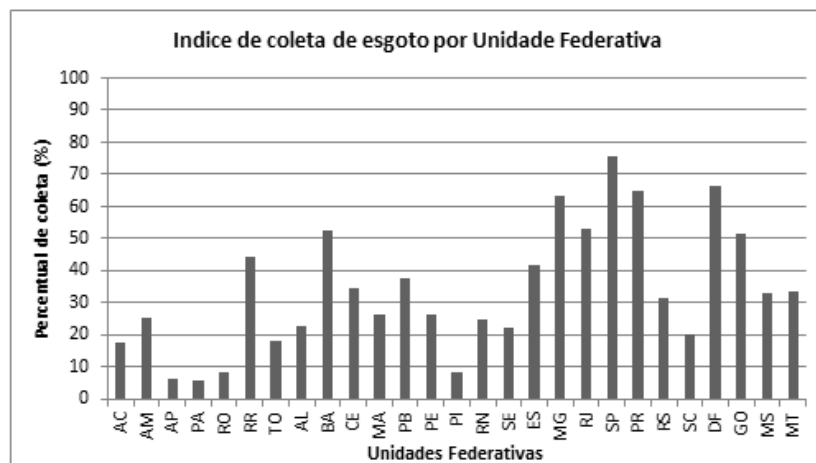
As práticas usuais de disposição de lodo de esgoto, como os “aterros sanitários e controlados” ou os “despejos a céu aberto”, são alternativas que têm potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis, além de se constituírem, frequentemente, em focos de problemas de saúde pública, pela contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e pela proliferação de animais e insetos vetores de doenças (MORAIS NETO *et al.*, 2007). O despejo nos oceanos, rios e lagos é prática proibida por lei nos Estados Unidos por causar sérios danos ao ambiente; a incineração é uma alternativa prática, mas não econômica, pois gera gases poluentes para a atmosfera (ROS *et al.*, 1991). Diversos usos alternativos têm sido desenvolvidos, como: agregados leves para a construção civil, fabricação de

tijolos e cerâmicas, fonte de energia para produção de cimento e conversão do lodo em óleo combustível (TSUTIYA *et al.*, 2001).

No Brasil, os principais problemas associados à gestão dos resíduos gerados são a disposição inadequada, coleta informal e insuficiência do sistema de coleta pública (LINHARES *et al.*, 2012).

Na Figura 6 pode-se visualizar um gráfico com a situação brasileira de coleta e tratamento de esgoto em 2013, elaborada através de dados de coleta e tratamento de esgoto, declarados por companhias, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e prefeituras (BRASIL, 2014). Pode-se perceber que a coleta de esgoto ainda é uma atividade bastante precária no Brasil e, em alguns estados este serviço é quase inexistente, como observado nos Estados do Amapá, Pará, Rondônia e Piauí, onde os índices de coleta de esgoto estão abaixo de 10% e o tratamento não ocorre em todo esgoto coletado.

Figura 6 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação



Fonte: Adaptado de Brasil (2014)

O estudo abordado por Kelessidis e Stasinakis (2012) analisa as principais disposições do lodo de esgoto em 27 países, que após a análise de relatórios publicados, conclui que o uso agrícola teve um aumento e foi apontado como uma das principais opções para a destinação do lodo de esgoto. No Brasil, os estudos acerca do assunto ainda são escassos, mas são crescentes os trabalhos referentes ao uso do lodo de esgoto para fins agrícolas.

Apesar de ainda ser precária a coleta e tratamento do esgoto no Brasil, a expansão do saneamento vem ocorrendo, juntamente com a melhoria dos

processos de tratamento de esgoto e ao conseqüente aumento na geração de lodo de esgoto (LAMBALIS e CARMO, 2008).

Para Sanepar (1999), o crescimento das demandas da sociedade por melhores condições do ambiente, tem exigido das empresas públicas e privadas a definição de políticas ambientais mais avançadas, que geralmente iniciam pelo tratamento dos efluentes. Desta maneira, as empresas de saneamento enfrentam o desafio de destinar adequadamente este resíduo (BITTENCOURT, 2014).

A disposição final do lodo de esgoto vem se caracterizando como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes da atualidade, e que cresce diariamente tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, como reflexo da ampliação das redes de coleta de efluentes urbanos e incremento dos níveis de tratamento. Além da sua importância econômica, a destinação final do lodo é uma operação bastante complexa e impactante sobre o meio ambiente, muitas vezes ultrapassando os limites da ETE (PEGORINI, 2002).

As soluções mais utilizadas nos países desenvolvidos como forma de equacionamento do problema tem sido: o uso agrícola, a disposição em aterros, a disposição oceânica, a incineração e na recuperação de áreas degradadas (TSUTIYA, 2000).

A alternativa da reciclagem tem o grande benefício de transformar um resíduo problemático e de difícil disposição em um importante insumo agrícola, fornecendo matéria orgânica e nutriente ao solo (ANDREOLI, 1999).

Apesar de ainda serem escassas, algumas pesquisas mostram que o lodo é um resíduo com cenários favoráveis para a produção de plantas. Melo e Marques (2000) apresentam informações sobre o uso do lodo de esgoto para as espécies vegetais cana de açúcar, milho, sorgo e azevém. Bettiol e Camargo (2000) apresentam informações positivas sobre aproveitamento do lodo para arroz, aveia, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, café e pêssego.

Segundo Tamanini (2004), a utilização do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de esgoto pode se constituir em uma valiosa ferramenta para a recuperação da cobertura vegetal de diversas regiões degradadas nas proximidades de centros urbanos no Brasil.

De acordo com Tsutiya *et al.* (2001), as aplicações do biossólido em áreas agrícolas, de florestas e também degradadas podem melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, substituindo, pelo menos em parte, os

fertilizantes minerais. Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e à fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição de biossólido apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação.

A crescente geração de resíduos de saneamento tem levado o uso de lodo de esgoto como fontes alternativas de matéria orgânica. A produção constante e inesgotável desses materiais, aliada ao baixo custo de obtenção, torna-os atrativos para serem usados na agricultura, paisagismo, florestas e recuperação de áreas degradadas. Além disso, considerando que a geração de resíduos é por si só um problema, o reaproveitamento deles contribui para aliviar a pressão sobre o meio ambiente (CORRÊA, 2003), permitindo dar um destino final adequado a um resíduo de disposição problemático que atua positivamente como recuperador de características físicas, químicas e biológicas, em áreas que devem ter suas características naturais recompostas (ALMEIDA, 2003; TAMANINI, 2004).

Segundo Andreoli (1999), o aproveitamento racional do lodo de esgoto exige a busca de informações consistentes que possam garantir o uso racional deste resíduo.

Dentro deste contexto foi desenvolvida a parte experimental deste trabalho justificando o uso de materiais alternativos para recuperação de áreas mineradas, ao mesmo tempo, promovendo um destino apropriado a materiais que de outra maneira necessitariam de uma disposição específica (rejeito de mineração, lodo de esgoto, etc), implicando em solução única para os dois problemas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

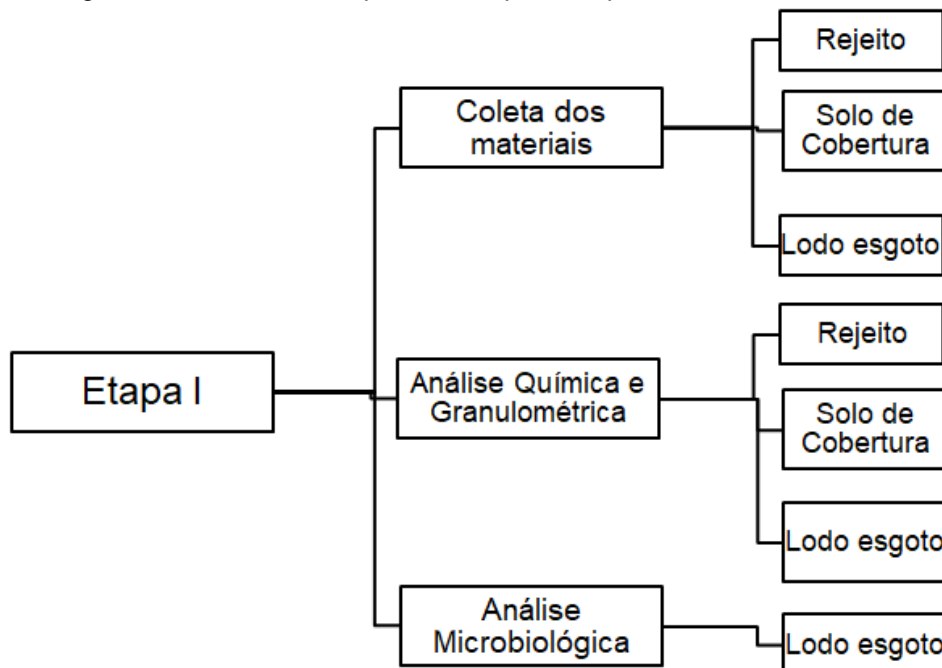
Os materiais foram coletados prevendo uma distribuição espacial, como forma de obter representatividade. Foram realizadas amostragens de todos os materiais, conforme determina a NBR 10.007 (ABNT, 2004).

Os materiais utilizados no experimento foram:

- Rejeito de mineração - RM - (pedreira de basalto);
- Solo de cobertura - SC - (pedreira de basalto);
- Lodo de esgoto - LE - (UASB/ETE);
- Gramínea - *Avena strigosa* (aveia preta) - comércio varejista.

Em uma primeira etapa, os materiais empregados foram coletados e individualmente caracterizados, obtendo-se a análise química e granulométrica para rejeito de mineração - RM -, solo de cobertura - SC - e lodo de esgoto - LE -, conforme Figura 7. Além disso, o LE também passou por análise microbiológica visando à identificação de agentes patogênicos.

Figura 7 - Fluxograma demonstrando a primeira etapa do experimento – ensaios de caracterização

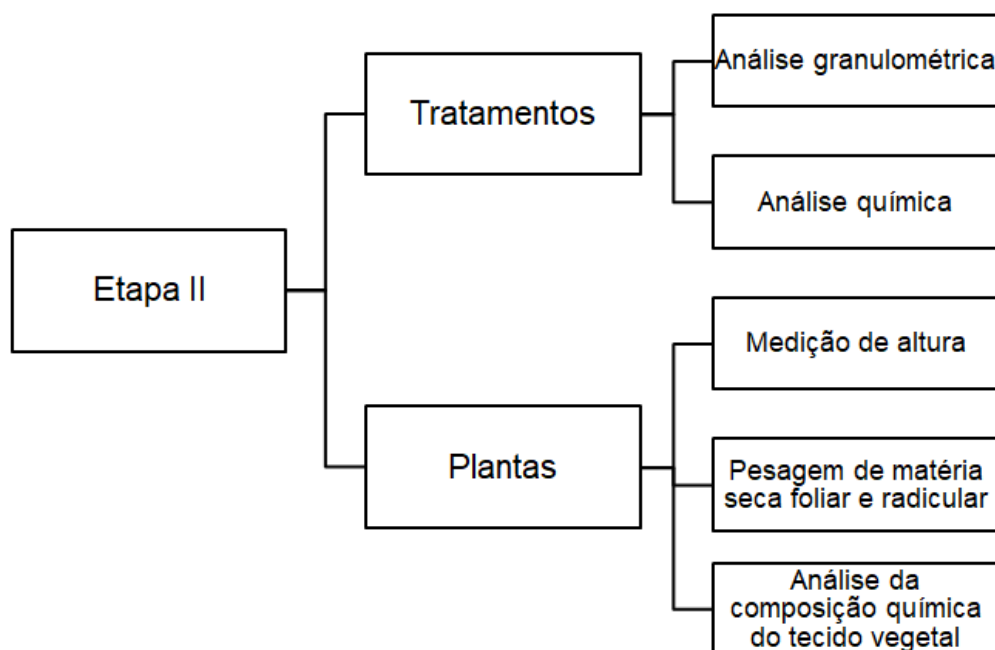


Fonte: Autora, 2017



Em uma segunda etapa os materiais foram misturados em função da caracterização obtida na Etapa I, dando origem aos tratamentos. Os tratamentos foram analisados em termos de granulometria (análise física) e fertilidade (análise química). Os tratamentos foram plantados com aveia preta e passado o ciclo de crescimento e já no fim do experimento, foi mensurada a altura, massa de matéria seca foliar, radicular e total, bem como a realização de análise da composição química do tecido vegetal, conforme Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma demonstrando a segunda etapa do experimento



Fonte: Autora, 2017

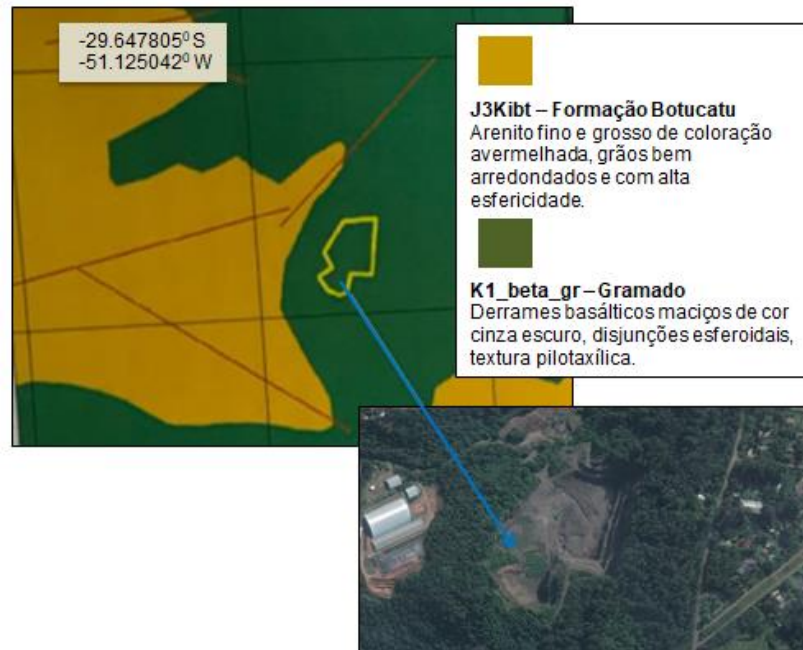
A seguir é descrita a sequência do experimento, desde a coleta e preparo dos materiais até a obtenção dos resultados.

### 3.1. REJEITO DE MINERAÇÃO E SOLO DE COBERTURA

O rejeito de mineração e o solo de cobertura foram coletados em uma pedreira de basalto abandonada do município de Novo Hamburgo/RS, localizado a aproximadamente 40 quilômetros da capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

A seguir é apresentada a imagem do mapa geológico regional, juntamente com imagem aérea do local (Figura 9), com as coordenadas geográficas.

Figura 9 - Mapa geológico do local e imagem aérea obtida do Google Earth



Fonte: Adaptado de mapa geológico do RS - CPRM (2016) e Google Earth (2017)

Na área de estudo há ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo as principais litologias representadas por basaltos toleíticos, andesitos, riocacitos, riolitos e dacitos. A litologia encontrada na área trata de derrames que se encontram na Fácies Gramado, sendo caracterizados por derrames basálticos granulares finos a médio, maciços de cor cinza escuro, horizontes vesiculares preenchidos por zeólitas, carbonatos, apofilitas e saponita, com estruturas de fluxo, intercaladas com os arenitos Botucatu (CPRM, 2016).

Os materiais caracterizados como rejeito de mineração e solo de cobertura, estavam dispostos em pilhas distintas (Figura 10), nas proximidades da cava que foi minerada, local onde foi realizada a coleta dos materiais (Figura 11).

Figura 10 - Destaque dos locais de coleta do RM (em vermelho) e SC (em amarelo)



Fonte: Adaptado do Google Earth (2017)

O solo característico da área é do tipo Neossolo Regolítico, caracterizados por serem imperfeitamente a bem drenados, onde a profundidade é variável, porém com predominância de solos rasos (EMBRAPA, 2013).

Figura 11 - Coleta de rejeito oriundo de pedreira de basalto (A), vista geral da pilha de rejeito da mina (B), coleta de solo de cobertura (C) e materiais acondicionados em sacos (D)



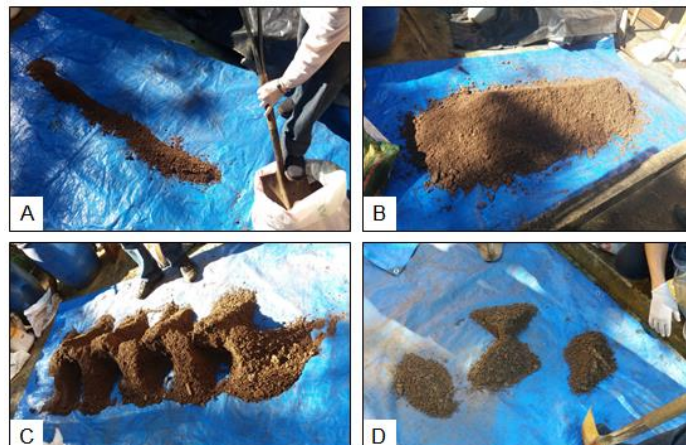
Fonte: Autora, 2017

### 3.1.1. Subamostragem

As amostras oriundas do campo foram estocadas numa área experimental aberta, localizada no Centro de Tecnologia (CT), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no município de Porto Alegre/RS.

A obtenção de subamostras de rejeito de mineração – RM e solo de cobertura - SC - foi realizada conforme método de quarteamento definido pela NBR 10.007 (ABNT, 2004), Figura 12.

Figura 12 - Material sendo homogeneizado (A), sequência do processo de homogeneização (B), material sendo quarteado (C), coleta de amostra para submeter à análise (D)



Fonte: Autora, 2017

Após preparadas, as amostras do RM de basalto e de SC foram submetidas à análise química de fertilidade no laboratório de análises de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

### **3.1.2. Caracterização**

Com vistas à caracterização de fertilidade do solo de cobertura e o rejeito oriundos de atividade de mineração, analisaram-se atributos químicos (pH, índice SMP, acidez potencial, CTC, macro e micronutrientes) conforme Tedesco *et al.* (1995). O Laudo das análises químicas do rejeito de pedra de basalto e de solo de cobertura, bem como a metodologia utilizada nas determinações se encontra no ANEXO A e ANEXO B, respectivamente.

A análise granulométrica foi feita no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) pelo método da pipeta descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

Com as frações calculadas, foi possível plotar os dados em diagrama triangular simplificado para a classificação textural do solo conforme EMBRAPA, (1997). A classe textural do solo é obtida através da interseção, no triângulo, das respectivas proporções de areia, silte e argila (CAMARGO *et al.*, 1996).

A textura do solo é definida pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo. A classe textural é determinada pela distribuição do tamanho de partículas e juntamente com o tipo de argila marcadamente afetam outras propriedades físicas como a drenagem e a retenção de água, a aeração e a consistência dos solos (REICHERT e REINERT, 2006).

## **3.2. LODO DE ESGOTO**

O lodo de esgoto foi coletado na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) Morada dos Eucaliptos da COMUSA (Companhia Municipal de Saneamento), localizado no Bairro Canudos, município de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul. A seguir é apresentada a imagem aérea do local (Figura 13) obtida do Google Earth, juntamente com as coordenadas geográficas.

O LE da presente pesquisa é oriundo de um sistema anaeróbio e o tratamento realizado através de reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF), sendo que pode ser



visualizado na Figura 14, a ETE, os leitos de secagem e as caçambas onde o lodo é armazenado quando reduzido seu teor de umidade.

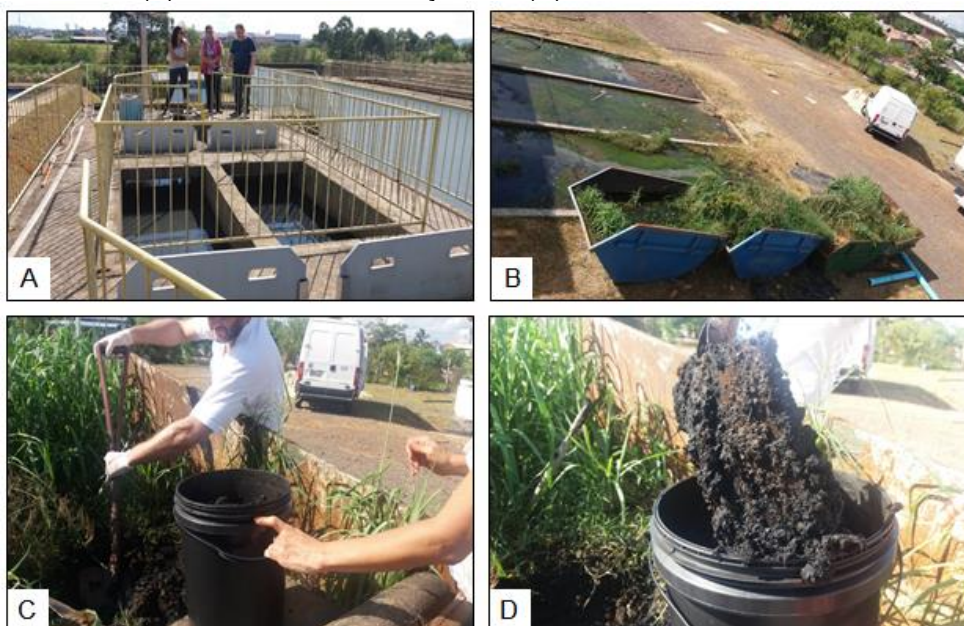
Figura 13 - Imagem aérea da ETE de Novo Hamburgo



Fonte: Adaptado do Google Earth (2017)

Coletaram-se amostras de vários pontos e em diferentes profundidades da caçamba para integrar uma amostra composta representativa conforme NBR 10.007 (ABNT, 2004).

Figura 14 - ETE onde o LE foi coletado (A), leitos de secagem e caçambas carregadas de LE para serem destinadas (B), coleta do LE nas caçambas (C), material com menor teor de umidade (D)

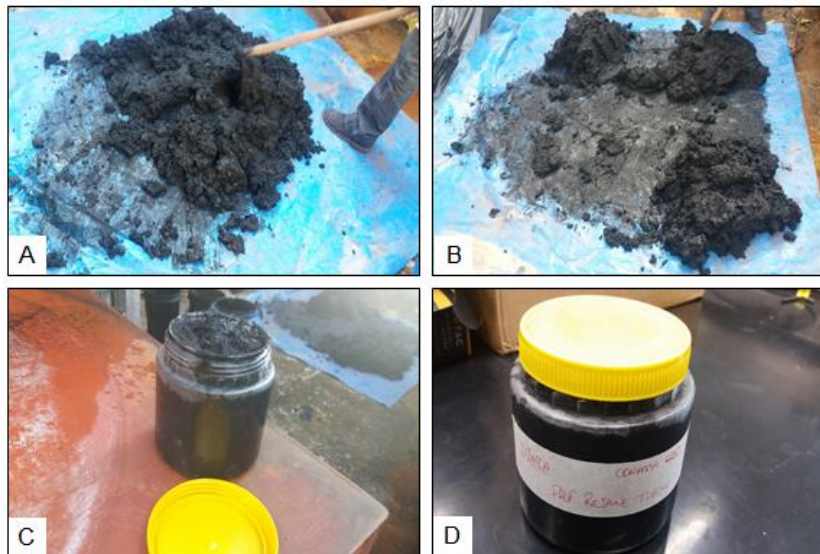


Fonte: Autora, 2017

### 3.2.1. Subamostragem

Após coletadas as amostras do lodo junto à ETE, as mesmas foram transportadas até o Centro de Tecnologia (CT) da UFRGS, onde passaram por uma subamostragem, através do quarteamento (NBR 10.007, 2004), para serem submetidas à análise química, que foi realizada no laboratório de análises de solo da UFRGS (Figura 15).

Figura 15 - Material sendo homogeneizado (A), amostra preparada para quarteamento (B), amostra de lodo para análise (C) com identificação para ser enviada ao laboratório (D)



Fonte: Autora, 2017

Apesar das amostragens terem sido realizadas de forma representativa em um determinado momento de produção, todos os materiais estão sujeitos a variações decorrentes de parâmetros ambientais ou de alterações no processo industrial.

### 3.2.2. Caracterização

A caracterização do lodo seguiu metodologia definida pela Resolução CONAMA 375/2006, sendo que a determinação de substâncias químicas encontra-se no ANEXO C, e o laudo da análise microbiológica no ANEXO D, juntamente com os métodos de análise.

A análise granulométrica foi feita no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) pelo método da pipeta descrito no Manual de Métodos de Análise

de Solo (EMBRAPA, 1997), conforme descrito anteriormente para o rejeito de mineração e solo de cobertura.

### 3.3. COBERTURA VEGETAL

Por último, sementes de Aveia Preta (*Avena strigosa*) cultivar EMBRAPA 29 – Garoa foram adquiridas no mercado varejista de Porto Alegre-RS. Optou-se pela aveia preta por pertencer à família das Poaceas (gramíneas), ser rústica, ter boa produção de massa verde e rápido desenvolvimento (FONTANELI *et al.*, 2012).

### 3.4. ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em área aberta junto ao Centro de Tecnologia (CT), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no município de Porto Alegre/RS.

### 3.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi disposto em um delineamento em blocos casualizados, envolvendo 5 tratamentos (Tabela 1) e 5 blocos (repetições), num total de 25 unidades experimentais - UE (Figura 16).

O sorteio dos tratamentos foi feito dentro de cada bloco, já que todos os blocos devem conter todos os tratamentos, caracterizando ambientes experimentais heterogêneos, ou seja, variações do ambiente.

Foi observado o efeito individual dos materiais empregados, onde caberá ao rejeito de mineração - RM atuar como material de controle.

Tabela 1 - Constituição dos tratamentos

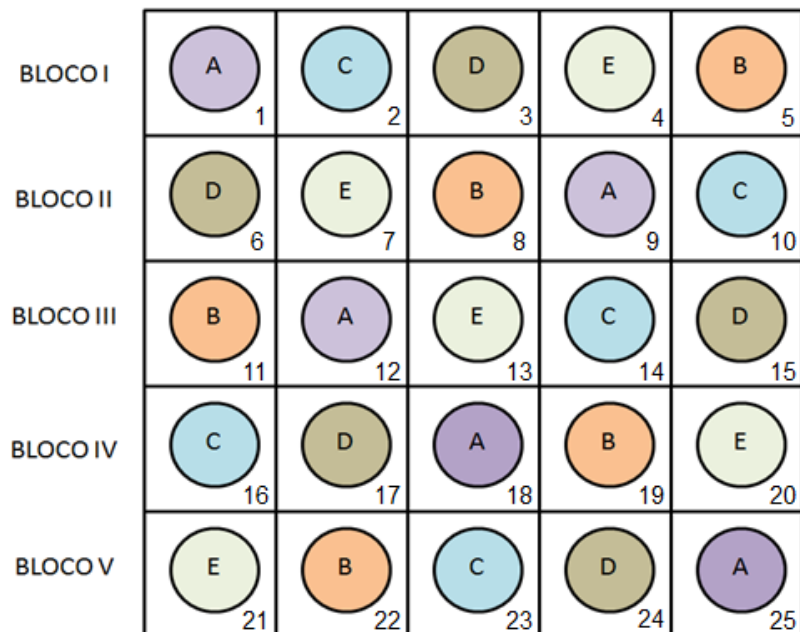
TRATAMENTOS	MATERIAIS
A	RM (0,1% MO)
B	RM + LE (1,8% MO)
C	RM + SC (1,8% MO)
D	SC (3,2% MO)
E	RM + LE (3,2% MO)

Para definição dos tratamentos levou-se em consideração a análise química dos materiais individualizados, no que se refere ao teor de matéria orgânica – MO.

Conforme Silva *et al.* (2009) e SBCS (2004), um dos elementos constituintes de um solo é o percentual de matéria orgânica (MO), o qual é considerado alto quando acima de 5%.

De acordo com Wietholter (2000a), o aumento do teor de MO do solo, deverá também aumentar o teor de nitrogênio (N), uma vez que o teor N da matéria orgânica vegetal é relativamente constante (5 %).

Figura 16 - Esquema de disposição das unidades experimentais



Fonte: Adaptado de Santos, 2017

Considerando que o solo de cobertura (SC) específico da pedreira apresentou 3,2% de MO, conforme resultado da análise química (ANEXO B), convencionalmente definiu-se que a montagem do experimento se basearia neste fator. Contudo, através do histórico do licenciamento ambiental da FEPAM, é sabido que as pedreiras de basalto da região apresentam reduzida camada de solo orgânico, bem como da dificuldade do empreendedor de estocagem e manutenção deste material para posterior uso na recuperação. Sendo assim, foi definido que seria importante realizar um estudo com um percentual ainda menor de MO. Logo, foi incluído o valor de 1,8% de MO, considerando um cenário comum que ocorre nas áreas a serem recuperadas, o que remete a uma carência de material orgânico.

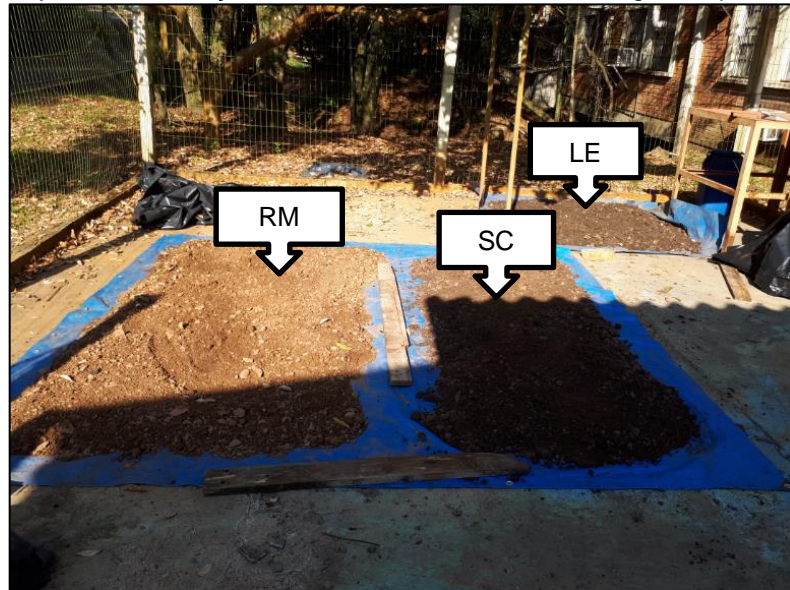


A amostra de lodo de esgoto - LE apresentou carbono orgânico - CO de 8,8 % (ANEXO C). Conforme Tedesco *et al.* (1995) a unidade de conversão do CO para MO é transformada pela seguinte relação:  $MO = CO \times 1,723$  (fator de Van Bemmelen). Através deste parâmetro, obteve-se um valor de MO de 15,1% para o LE. Este valor também foi utilizado para definição dos tratamentos aplicados, conforme Tabela 1.

### 3.6. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os materiais foram submetidos à secagem natural, através da radiação solar, ação dos ventos, onde foram dispostos em lonas e cobertos durante a noite, em momentos de umidade elevada e períodos de chuvas (Figura 17).

Figura 17 - Rejeito de mineração, solo de cobertura e lodo de esgoto expostos à secagem



Fonte: Autora, 2017

Após, aproximadamente um mês de secagem ao ar livre, o rejeito de mineração - RM, o solo de cobertura - SC - e o lodo de esgoto - LE - foram então submetidos à secagem completa, efetuada em estufa MA037 (Marconi) (60°C) com circulação de ar, no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) da UFRGS (Figura 18).

Durante a secagem os materiais foram permanentemente destorroados para evitar-se a queima dos mesmos.

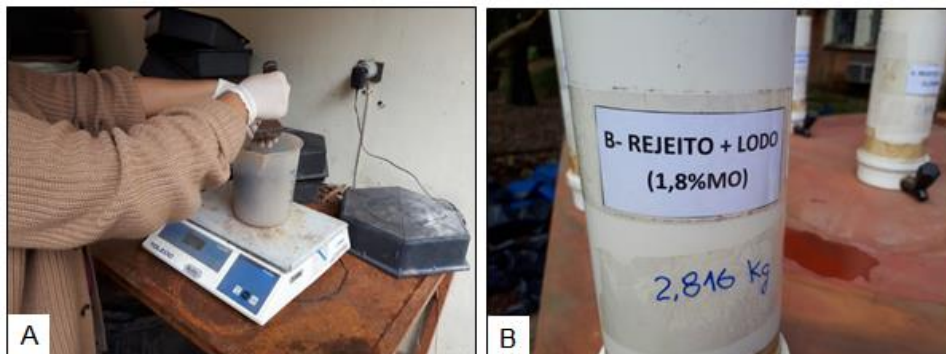
Figura 18 - Estufa a 60 °C (A) e secagem do material no interior da estufa (B)



Fonte: Autora, 2017

Após a secagem, procedeu-se a montagem do experimento, pesando os distintos materiais conforme cálculos dos teores de MO planejado para cada tratamento (Figura 19). No total, foram preparados aproximadamente 40 kg de RM, 20 kg de SC e 4,0 kg de LE, todos com peso seco.

Figura 19 - Pesagem do material para montagem dos vasos (A), unidades experimentais devidamente preenchidas com os materiais e identificadas (B)



Fonte: Autora, 2017

Foi realizada a mistura de cada material em um recipiente plástico, com auxílio de uma espátula até obter a homogeneização. Após isto, foram preenchidos os vasos com as respectivas misturas, conforme definido em cada tratamento, sendo realizadas cinco repetições (blocos).

Utilizou-se como unidade experimental (UE) tubos de PVC com 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro (Figura 20). Os tubos, caracterizados como vasos, receberam dupla camada de tela plástica no fundo para evitar perda do material durante a estabilização do substrato.

Os vasos foram identificados e preenchidos com os respectivos materiais (tratamentos), em 17 de agosto de 2017.

Estas unidades foram dispostas em bancadas, através de sorteio, como pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 - Experimento instalado em 5 blocos e 5 linhas



Fonte: Autora, 2017

Na extremidade inferior (base do recipiente) foi encaixada uma tampa de PVC (tampa CAP) na qual colocou-se uma torneira por onde ocorreu a drenagem do excesso de água.

A água adicionada (água de abastecimento) em cada UE durante a condução do experimento foi correspondente à capacidade de campo do material utilizado.

De acordo com Veihmeyer e Hendrickson (1949), capacidade de campo é a quantidade de água necessária para ocupar todos os poros do solo após todo o excesso ter sido drenado. Desta forma, foi feito um teste de capacidade de campo com todos os tratamentos e, no decorrer do experimento, foram mantidos com 60% sua capacidade.

Desta maneira, finalizando-se a montagem dos vasos os mesmos foram imediatamente irrigados até 60% da capacidade de campo e mantidos nestas condições por quinze dias para "aclimatação" do ambiente edáfico.

No decorrer do experimento foi analisada constantemente a necessidade de irrigação, através de pesagem semanal dos vasos, com o objetivo de controlar a capacidade de campo.

### 3.7. ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETAL

Findo o prazo de aclimação (15 dias), em 01 de setembro de 2017, cada vaso recebeu aproximadamente vinte sementes de *Avena strigosa* (aveia), a 0,5 cm de profundidade, que germinaram, em média, 7 dias após a semeadura (Figura 21). Dez dias após o plantio, as plantas foram desbastadas, deixando-se as 10 (dez) plantas mais uniformes em cada vaso, que foram conduzidas até o final do ciclo fenológico da cultura.

Figura 21 - Crescimento vegetal antes do desbaste (A) repicagem, deixando as 10 plantas mais uniformes por vaso (B)



Fonte: Autora, 2017

O crescimento da aveia preta foi monitorado até 13 de novembro de 2017 quando foram realizadas as medidas de altura e colhidas todas as folhas e as raízes, já próximas ao final do ciclo de crescimento, que foi de 75 dias.

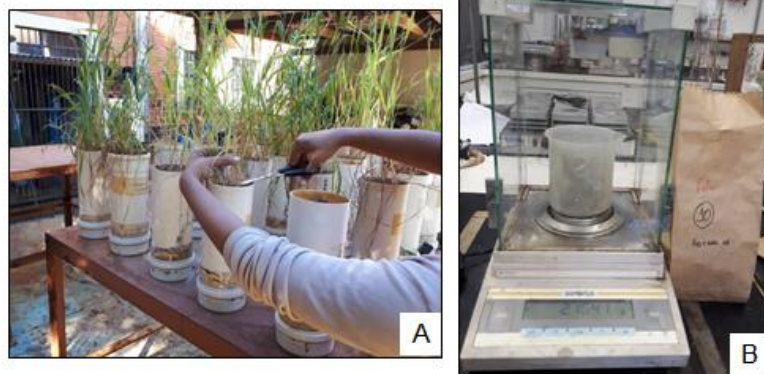
#### 3.7.1. Coleta da parte aérea

A totalidade da parte aérea de cada vaso foi cortada a dois centímetros da superfície do solo e armazenada em sacos de papel identificados e seca em estufa de ar forçado a 65 a 70°C, até peso constante, para quantificação da matéria seca e posterior moagem para análise química do tecido vegetal (EMBRAPA, 2000). Os



resultados da análise química do tecido vegetal estão no ANEXO E. Foi deixado o material esfriar e pesado em balança analítica digital (Sartorius) para obtenção da matéria seca (Figura 22).

Figura 22 - Coleta da parte aérea (A), amostra sendo pesada após passar por secagem (B)



Fonte: Autora, 2017

### 3.7.2. Coleta do sistema radicular

Após a coleta da parte aérea, o sistema radicular de cada vaso foi separado manualmente do solo (Figura 23). Todo material coletado foi lavado com água deionizada, acondicionado em sacos de papel e identificado, igualmente seco em estufa de ar forçado até peso constante (EMBRAPA, 2000).

Figura 23 - Separação manual das raízes do tratamento com lodo a 3,2% MO (A), separação das raízes do tratamento com solo de cobertura (B) e lavagem das raízes (C)



Fonte: Autora, 2017

### 3.8. FERTILIDADE DO SOLO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Aproximadamente três meses após a montagem do experimento, e coleta da matéria foliar e radicular, foram também coletadas amostras dos solos de todas as unidades experimentais (vasos) e encaminhado para Laboratório de Análises de Solos da UFRGS para caracterização da fertilidade. As análises constituíram-se na determinação dos teores de argila, pH em água, índice SMP, fósforo e potássio disponíveis, matéria orgânica, alumínio, cálcio e magnésio, Al+H, capacidade de troca de cátions, bem como a saturação de alumínio e bases, relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K, ainda enxofre, zinco, cobre, boro e manganês, conforme Tedesco *et al.* (1995). O laudo químico de fertilidade encontra-se no ANEXO F, juntamente com a metodologia utilizada.

Também foi realizada análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) para cada um dos tratamentos, caracterizando a segunda etapa, sendo que na primeira, a análise química e granulométrica foi realizada para os materiais individualizados conforme relatado anteriormente.

### 3.9. AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS

Foi realizada análise estatística com intuito de verificar mudanças significativas entre os tratamentos propostos frente às variáveis estudadas.

Na Análise de variância (ANOVA), em blocos casualizados, foram considerados significativos os valores alcançados para probabilidades inferiores a 5%. As médias que apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. O programa estatístico utilizado foi o SPSS versão 18. Os gráficos foram elaborados com auxílio do programa GraphPad Prism 5.0.

Para as análises das misturas dos materiais (tratamentos) avaliaram-se individualmente todas as variáveis (pH, CTC, MO, P, K, Ca, Mg, etc), conforme dados apresentados nos APÊNDICE B e item 4.3.2 dos resultados e discussão, de acordo com os testes descritos anteriormente. Dados brutos de cada elemento constam no ANEXO F.

Para as análises referentes ao material vegetal, avaliaram-se os parâmetros relacionados à altura, matéria seca foliar, radicular e total, conforme apresentados no APÊNDICE B e item 4.4.1 dos resultados e discussão. Dados brutos constam no APÊNDICE A.

A análise química do tecido vegetal teve sua análise estatística comprometida, principalmente relacionada aos tratamentos A, C e D, onde não foi possível fazer a análise de variância, devido à falta de material vegetal. Já para os tratamentos B e E a análise foi efetuada somente para 3 blocos, conforme especificado no item 4.4.2 dos resultados e discussão. Os dados brutos constam no ANEXO E.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os resultados relativos à Etapa I, conforme Figura 7, referente à caracterização dos materiais individualizados, sendo análise química e granulométrica para rejeito de mineração - RM, solo de cobertura - SC - e lodo de esgoto - LE - e análise microbiológica para o LE.

Na sequência, são expostos os resultados relativos à Etapa II, conforme Figura 8, no que se referente aos tratamentos (A, B, C, D e E), relativos à análise granulométrica (física) e análise de fertilidade química. Para as plantas de aveia preta, foi mensurada a altura, massa de matéria seca foliar, radicular e total, bem como a análise da composição química do tecido vegetal.

### 4.1. REJEITO DE MINERAÇÃO E SOLO DE COBERTURA

#### 4.1.1. Aspectos químicos

Neste item serão apresentados os resultados referentes às análises químicas de fertilidade realizadas no rejeito de mineração - RM - e no solo de cobertura - SC - (oriundos de pedreira de basalto). Os laudos completos encontram-se dispostos nos ANEXOS A e B, respectivamente.

No que se refere ao RM, os resultados mostram que o pH apresentou-se alto (pH=6,5), conforme SBCS (2004). O teor de MO é baixo (MO=0,1%) somado à carência expressiva de Potássio. Conforme Bissani *et al.* (2008), os solos derivados de basalto, apresentam, em geral, baixos teores de K. As cargas disponíveis no complexo de troca estão majoritariamente ocupadas por cátions básicos (saturação por bases de 96%), não apresentando alumínio. Não houve carência de micronutrientes, exceto Boro (Tabela 2).

Cabe destacar que a pouca disponibilidade de nutrientes no solo é um problema a ser considerado. Por este fato, o estabelecimento, o crescimento e desenvolvimento de cobertura vegetal ficam limitados. No que diz respeito à recuperação de áreas degradadas, este fator é limitante, visto que este processo exige rapidez no desenvolvimento vegetal e manutenção do mesmo na área de recuperação (FAGERIA *et al.*, 2006).



Tabela 2 - Parâmetros analisados para RM e SC

Parâmetros	Rejeito de Mineração - RM		Solo de Cobertura - SC	
	Amostra	SBCS (2004)	Amostra	SBCS (2004)
Argila (%)	13,0	Classe 4	13,0	Classe 4
pH H <sub>2</sub> O	6,5	Alto	6,4	Alto
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	29,4	Alto	13,5	Médio
CTC bases (%)	96,0	Alto	84,0	Alto
CTC Al (%)	0,0	Muito baixo	0,0	Muito baixo
P (mg dm <sup>-3</sup> )	>100	Muito alto	18,0	Médio
K (mg dm <sup>-3</sup> )	48,0	Baixo	88,0	Alto
MO (%)	0,1	Baixo	3,2	Médio
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19,8	Alto	8,6	Alto
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,2	Alto	2,5	Alto
S (mg dm <sup>-3</sup> )	13,0	Alto	26,0	Alto
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	1,9	Alto	7,2	Alto
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	15,0	Alto	2,7	Alto
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,1	Baixo	0,2	Médio
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	18,0	Alto	2,0	Baixo

pH<sub>(1:1)</sub>, P e K Mehlich 1, Ca<sub>troc.</sub>, Mg<sub>troc.</sub>, Al<sub>troc.</sub>, Mn KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, S-SO<sub>4</sub> CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup>, Zn e Cu HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, MO digestão úmida e B água quente.

Já nas análises referentes ao SC, observa-se que este apresentou características químicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento de cobertura vegetal. Esta afirmação está diretamente associada ao teor de matéria orgânica (MO=3,2%), classificado como médio (SBCS, 2004), o qual é indispensável para o desenvolvimento e manutenção da cobertura vegetal (Melo *et al.*, 2001). Conforme análise, constatou-se que não houve carência de macro e micronutrientes, com exceção do manganês.

#### 4.1.2. Análise granulométrica

As análises granulométricas das amostras de RM e SC estão representadas na Tabela 3 e Figura 24.

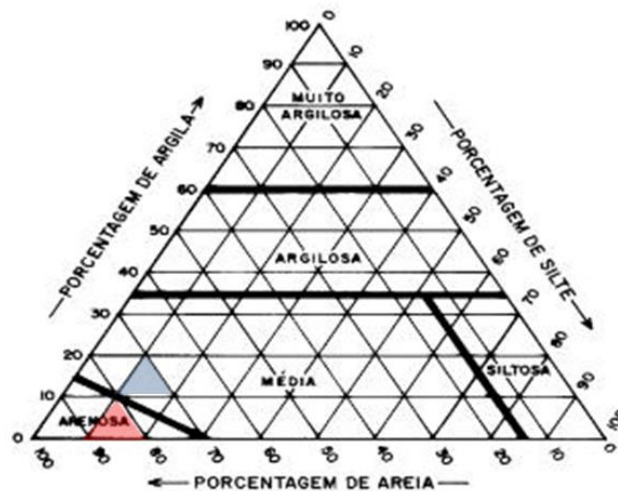
Pode-se observar que para o RM, a textura é classificada como arenosa, conforme diagrama da Figura 24. apresentando 84,9% de areia, sendo 77,5% grossa e com teor de argila de apenas 3,2%. São frequentemente referidos como solos de textura grosseira por apresentarem baixa capacidade de retenção de água, fáceis de arar, apresentam altas taxas de percolação e infiltração sendo bem drenados e aerados, em comparação com os solos de textura fina (FAGERIA *et al.*, 2006).

Tabela 3 - Distribuição granulométrica do RM e SC

Granulometria	Rejeito de Mineração	Solo de Cobertura
	(%)	(%)
Teor de areia grossa	77,5	29,1
Teor de areia fina	7,4	45,4
Teor de silte	11,9	11,9
Teor de argila	3,2	13,6

Já a textura do SC é classificada como média na classificação do diagrama triangular, apresentando 74,5% de areia, sendo 29,1% grossa e com teor de argila de 13,6% (Figura 24). Um solo franco (textura média) tem geralmente densidade intermediária, boa agregação, boa taxa de infiltração e nenhum impedimento à drenagem, representando um solo com boas condições físicas (FAGERIA *et al.*, 2006).

Figura 24 - Diagrama triangular simplificado, destacando o RM (em vermelho) e SC (em azul)



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 1997

## 4.2. LODO DE ESGOTO

### 4.2.1. Aspectos químicos

As análises químicas realizadas no lodo de esgoto - LE - de Novo Hamburgo (NH) estão apresentadas na Tabela 4. O laudo completo e a metodologia de análise estão dispostos no ANEXO C.

É possível verificar que o LE de Novo Hamburgo apresenta valores de metais pesados abaixo dos preconizados pela Resolução CONAMA nº 375 (CONAMA,

2006a). Na Tabela 4 também estão apresentadas as concentrações de elementos químicos presentes em lodos de esgoto de algumas ETE do Brasil, bem como o teor de metais, que também estão abaixo do estabelecido na referida resolução.

Tabela 4 - Concentração de elementos químicos em lodos de ETE brasileiras e restrições de uso

Determinações	ETE <sup>(1)</sup> Novo Hamburgo	ETE <sup>(2)</sup> Curitiba	ETE <sup>(3)</sup> Jundiaí	ETE <sup>(4)</sup> Rio de Janeiro	Conc. Máx. Permitida CONAMA 375/2006 (mg kg <sup>-1</sup> )
Umidade (%)	60		55		
pH	8,0		5,0		
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	88		200		
Nitrogênio- TKN (g kg <sup>-1</sup> )	9,5		25,3		
Relação C/N	9		7,9		
Fósforo total (g kg <sup>-1</sup> )	2,9		16,6		
Potássio total (g kg <sup>-1</sup> )	1,2		1,9		
Cálcio total (g kg <sup>-1</sup> )	9,1		12,1		
Magnésio total (g kg <sup>-1</sup> )	2,7		2,3		
Enxofre total (g kg <sup>-1</sup> )	6,2		19,2		
Ferro total (g kg <sup>-1</sup> )	17		25,95		
Manganês total (mg kg <sup>-1</sup> )	175		584		
Sódio total (g kg <sup>-1</sup> )	0,66		1,5		
Cobre total (mg kg <sup>-1</sup> )	69	101	850	384	1500
Zinco total (mg kg <sup>-1</sup> )	461	515	573	620	2800
Cádmio total (mg kg <sup>-1</sup> )	<0,2	0,303	8,24	3	39
Cromo total (mg kg <sup>-1</sup> )	31	60,5	162,7	31	1000
Níquel total (mg kg <sup>-1</sup> )	21	37,4	37,8	13,8	420
Chumbo total (mg kg <sup>-1</sup> )	21	22,5	196,4	139	300
Arsênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	14	0,005	0,1	3,7	41
Selênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	<4	10,27	-	<1	100
Bário total (mg kg <sup>-1</sup> )	132	130	-	138	1300
Molibdênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	0,7	0,068	-	9	50
Mercúrio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,00	<0,1	<0,1	17

Fonte: Lodo da presente pesquisa<sup>(1)</sup>, adaptado de Kratz (2011)<sup>(2)</sup>, Sampaio (2010)<sup>(3)</sup> e Alaminio (2010)<sup>(4)</sup>

Conforme Tamanini (2004) os biossólidos apresentam níveis desses elementos variando conforme o tipo de esgoto e lodo gerado nas ETE e, portanto necessitam de avaliação antes de sua disposição no solo a fim de evitar contaminação ambiental.

A Resolução nº 375/2006 do CONAMA define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto, os quais são gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário (CONAMA, 2006a). A mesma Resolução estabelece as concentrações máximas permitidas de diversos compostos químicos encontrados no

LE, tornando-o apto para uso agrícola, conforme o da presente pesquisa. Esta conformidade também foi observada por Andreoli (1999), Pegorini (2002), e Tamanini (2004) em trabalhos realizados com a utilização do lodo de esgoto.

De acordo com SBCS (2004), o teor de MO foi alto (15,1%), o qual exerce um papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, provocando impacto direto no desenvolvimento e rendimento das plantas. Este resultado referenda a boa qualidade do LE aplicado enquanto fonte de MO.

Em contrapartida ao resultado do teor de MO do LE, o RM apresentou teor baixo (0,1%), o SC teor médio (3,2%), conforme SBCS (2004). O único elemento que é deficiente no lodo de esgoto é o potássio.

Andreoli *et al.* (2001) e Tsutiya *et al.* (2001) afirmam que as quantidades de K no bio sólido são relativamente inferiores do que as quantidades dos demais nutrientes, pois este elemento é altamente solúvel em água e no processo de tratamento do esgoto, fica contido no efluente líquido.

Ainda, é possível verificar que o LE atende os limites químicos impostos pela Resolução nº 420/2009 do CONAMA, exceto para os elementos Cobre e Zinco total (Tabela 5).

Alamino (2010), Sampaio (2010) e Kratz (2011) encontram problemas até mais críticos em relação ao Cu e Zn e em praticamente todos os outros metais pesados, conforme dados dos lodos das ETE apresentados na Tabela 4, quando comparados com os parâmetros da CONAMA 420/09, Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação dos parâmetros analisados para a amostra de lodo de N.H, com as concentrações máximas permitidas - CONAMA 420/2009

Determinações	LE de N.H	CONAMA 420/2009
Cobre total (mg kg <sup>-1</sup> )	69,0	60
Zinco total (mg kg <sup>-1</sup> )	461	300
Cádmio total (mg kg <sup>-1</sup> )	<0,2	1,3
Cromo total (mg kg <sup>-1</sup> )	31,0	75
Níquel total (mg kg <sup>-1</sup> )	21,0	30
Chumbo total (mg kg <sup>-1</sup> )	21,0	72
Arsênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	14,0	15
Selênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	<4,0	5
Bário total (mg kg <sup>-1</sup> )	132,0	150
Cobalto total (mg kg <sup>-1</sup> )	6,0	25
Molibdênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	0,7	30
Mercúrio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,5

A Resolução CONAMA nº 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e estabelece as concentrações de referência em que é necessário iniciar a prevenção (CONAMA, 2009).

Ao analisar a Tabela 5, pode-se constatar que os parâmetros referentes à Cobre e Zinco total estão acima do estabelecido na legislação. Logo, não é recomendada a utilização direta do LE como substituinte do SC. Desse modo, sugere-se misturá-lo com outro material de controle, neste caso o RM. Esta técnica faz com que ocorra a redução das concentrações destes elementos, tornando o LE apto à substituição do SC, conforme proposto.

Na Tabela 6 pode-se observar que a ação integrada do LE e RM, levou a correção da concentração dos elementos a níveis compatíveis com os da legislação. Como consequência, a mistura de LE + RM resultou nos tratamentos propostos B e E.

Tabela 6 - Comparação dos parâmetros Cu e Zn para os tratamentos B e E, com as concentrações máximas permitidas - CONAMA 420/2009

	Amostra	B - RM+LE (1,8% MO)	E - RM + LE (3,2% MO)	CONAMA 420
Cobre total (mg kg <sup>-1</sup> )	69,0	21,1	26,1	60
Zinco total (mg kg <sup>-1</sup> )	461,0	58,4	100,5	300

Desta maneira, é possível verificar que ambos os tratamentos apresentaram valores de Cobre e Zinco abaixo dos preconizados pela Resolução do CONAMA 420 de 2009. Portanto, pode-se afirmar que a quantidade aplicada de LE no experimento é segura e não apresenta risco de contaminação ambiental.

#### 4.2.2. Análise granulométrica

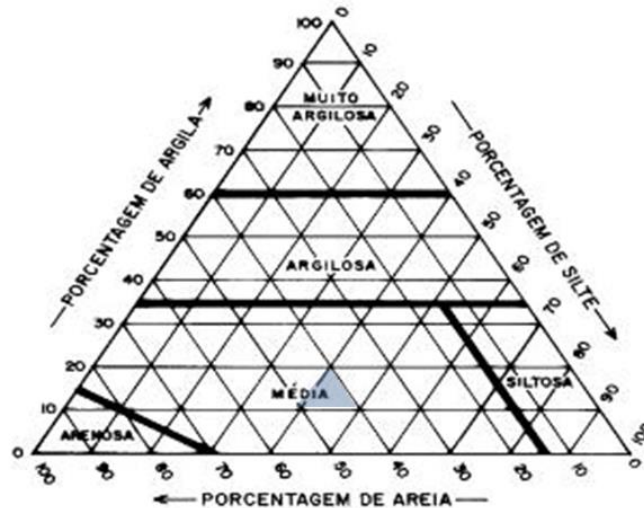
A análise granulométrica do LE está representada na Tabela 7 e Figura 25.

A textura do LE é classificada como média, utilizando a classificação do diagrama da Figura 25, apresentando 47% de areia, sendo 19,2% grossa e com teor de argila de 10,2% sendo considerada uma mistura equilibrada de partículas de areia, silte e argila, apresentando boa agregação e drenagem (FAGERIA *et al.*, 2006).

Tabela 7 - Distribuição granulométrica do lodo de esgoto - LE

Granulometria	(%)
Teor de areia grossa	19,2
Teor de areia fina	27,7
Teor de silte	42,9
Teor de argila	10,2

Figura 25 - Diagrama triangular simplificado, sendo que o destacado corresponde à textura do LE



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 1997

#### 4.2.3. Análise microbiológica

Na Tabela 8 apresenta -se as análises microbiológicas do LE. Conforme a Resolução 375 de 2006 do CONAMA, a variável referente à *Salmonella* sp. foi o único parâmetro divergente dos padrões estabelecidos. O laudo completo está disposto no ANEXO D.

Tabela 8 - Análise microbiológica do lodo de esgoto e concentrações máximas permitidas

Parâmetro	Resultado	CONAMA 375/2006	Unidade*
Ovos viáveis de Helmintos	<0,25	<0,25	Ovo/g de ST
Vírus entéricos	<0,25	<0,25	UFP/g de ST
Coliformes termotolerantes	490	<10 <sup>3</sup>	NMP/g de ST
Coliformes totais	>24196,0	-	NMP/g
<i>Salmonella</i> sp.	Presença	Ausência	10 g de ST

Unidade\*: ST: Sólidos totais; UFP: Unidade formadora de placa; NMP: número mais provável

Tendo em vista que o LE é um produto de origem biológica, se faz necessário o controle da área de aplicação (TAMANINI, 2004). Para áreas submetidas à recuperação, as quais não terão finalidade agrícola e/ou contato direto com animais,

lodos de esgoto não apresentam riscos à saúde humana nos primeiros anos após aplicação do bio sólido. Contudo, medidas como proteção da área, controle da erosão e escoamento superficial devem ser implementadas após a aplicação do mesmo, ou seja, medidas de conservação do solo, visando o máximo controle ambiental das áreas em recuperação (TAMANINI, 2004).

Sendo assim, levando em consideração as análises supracitadas referentes ao LE da ETE Morada dos Eucaliptos, pertencente ao município de Novo Hamburgo, é possível afirmar que o mesmo se encontra, dentro dos padrões definidos na legislação vigente, sendo promissora a perspectiva de uso do mesmo em recuperação de áreas degradadas.

#### 4.3. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS

##### 4.3.1. Aspectos físicos

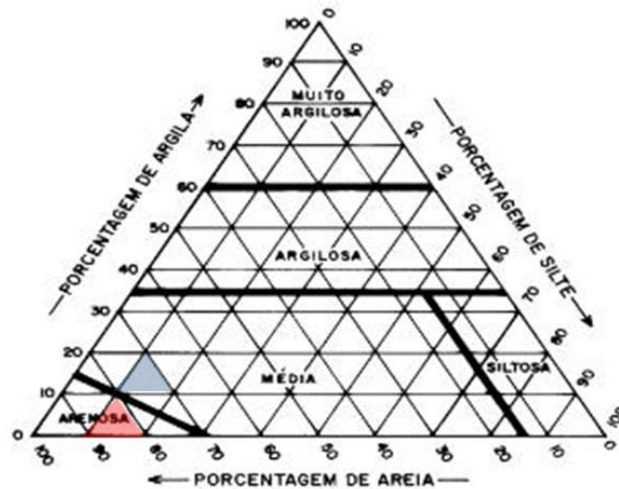
Na Tabela 9 é apresentada a distribuição granulométrica para os 5 tratamentos, qual seja: A (rejeito 0,1% MO), B (rejeito+lodo de esgoto 1,8% MO), C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO), D (solo de cobertura 3,2% MO) e E (rejeito+lodo de esgoto 3,2% MO). Conforme diagrama simplificado da EMBRAPA (1997), os tratamentos A, B e E foram classificados como textura arenosa. Já os tratamentos C e D como textura média (Figura 26).

Tabela 9 - Distribuição granulométrica dos tratamentos A, B, C, D e E

Granulometria (%)	A (RM) (0,1%MO)	B (RM+LE) (1,8% MO)	C (RM+SC) (1,8% MO)	D (SC) (3,2% MO)	E (RM+LE) (3,2% MO)
Teor de areia grossa	77,50	65,13	48,56	29,12	72,92
Teor de areia fina	7,40	18,35	29,15	45,35	10,60
Teor de silte	11,90	12,20	11,07	11,88	12,30
Teor de argila	3,20	4,32	11,22	13,65	4,18

Para Fageria *et al.* (2006) a textura do solo influencia a capacidade de retenção de água, as taxas de percolação e infiltração, a aeração e, conseqüentemente, o crescimento das plantas.

Figura 26 - Diagrama triangular simplificado, sendo que o destacado em vermelho corresponde aos tratamentos A, B e E, já o destacado em azul os tratamentos C e D



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 1997

Os tratamentos A, B e E foram os que receberam maior quantidade de rejeito de mineração e por consequência, apresentaram menores teores de argila, contudo, os tratamentos B e E receberam MO (lodo de esgoto). Melo e Marques (2000), ressaltam que a matéria orgânica presente no LE melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminuindo sua densidade e aumentando a aeração.

Solos de textura grosseira (arenosa) apresentam baixa capacidade de retenção de água e altas taxas de percolação e infiltração sendo bem drenados e aerados, em comparação com os solos de textura fina (FAGERIA *et al.*, 2006).

Um solo franco (textura média) tem boa agregação, taxa de infiltração e drenagem (FAGERIA *et al.*, 2006), caso dos tratamentos C e D.

Apesar dos tratamentos C e D apresentarem um solo franco, ou seja, melhor estruturado que um solo considerado arenoso (tratamentos A, B e E), os mesmos não foram os que possibilitaram melhor desenvolvimento da aveia preta, conforme será apresentado na sequência dos resultados.

#### 4.3.2. Aspectos químicos

Neste item é apresentado o resultado referente aos aspectos químicos envolvidos na fertilidade do experimento proposto, referente às 25 unidades experimentais. Os valores médios para cada tratamento estão dispostos na Tabela 10. O laudo completo está disposto no ANEXO F.



Tabela 10 - Valores médios (n=5) para acidez, matéria orgânica, CTC, macronutrientes e micronutrientes nos tratamentos aplicados - A, B, C, D e E

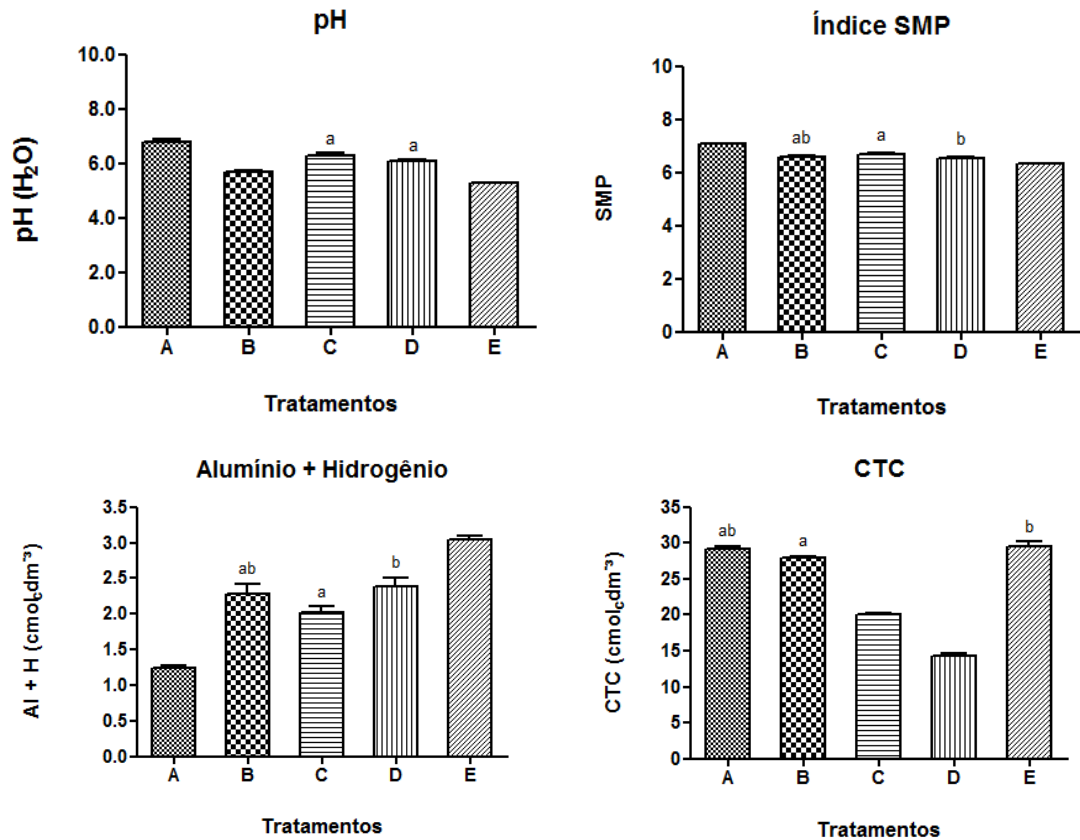
Determinações	A (RM) (0,1%MO)	B (RM+LE) (1,8% MO)	C (RM+SC) (1,8% MO)	D (SC) (3,2%MO)	E (RM+LE) (3,2% MO)
pH	6,78	5,66	6,30	6,08	5,28
Índice SMP	7,08	6,58	6,68	6,54	6,32
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,24	2,28	2,02	2,38	3,04
Alumínio troc. (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0	0	0	0,1
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	29,2	27,96	20,02	14,28	29,56
CTC bases (%)	95,8	91,8	90	83,6	89,6
CTC alum. (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
MO (%)	0,1	2,04	1,84	2,56	2,68
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	>100	>100	68	24,8	>100
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	54,8	44,6	45,2	46,2	43,8
Cálcio troc. (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19,2	18,38	12,86	9,0	19,48
Magnésio troc. (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,66	7,18	5,04	2,82	6,9
Enxofre (mg dm <sup>-3</sup> )	6,32	120,4	14,6	20,2	660,6
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	1,22	4,5	1,1	1,08	5,16
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> )	5,18	25,6	8,62	14	35,4
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> )	5,4	30,6	8,6	3,8	49,2
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	0,08	0,26	0,1	0,18	0,36

pH<sub>(1:1)</sub>, Índice SMP, P e K Mehlich 1, Ca<sub>troc.</sub>, Mg<sub>troc.</sub>, Al<sub>troc.</sub>, Mn .KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, S-SO<sub>4</sub> CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup>, Zn e Cu HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, MO digestão úmida e B água quente

Se tratando da acidez, é possível verificar que os tratamentos apresentaram pH distintos. O tratamento A foi o mais neutro (pH: 6,78). Os tratamentos C e D não apresentaram diferenças significativas no valor de pH entre si, como pode ser observado na Figura 27. Os tratamentos B e E apresentaram maior acidez (pH: 5,66 e 5,28, respectivamente), correspondendo aos tratamentos que receberam LE. Provavelmente, o aumento da acidez destes tratamentos esteja diretamente relacionado com a presença deste composto, pois conforme Mello *et al.* (1985), a MO fornece prótons H<sup>+</sup> e estes tendem a acidificar os solos, corroborando com os achados deste trabalho.

O Índice SMP corrobora com os valores de acidez encontrados nos tratamentos propostos. O tratamento A apresentou Índice SMP mais elevado, quando comparado aos tratamentos B e E (Tabela 10 e Figura 27). Os resultados deste trabalho divergem do estudo de Sopper (1993), o qual não percebeu redução no pH dos tratamentos onde fora adicionado o lodo de esgoto. Entretanto, Da Ros (1993), avaliando os efeitos da aplicação de lodo de esgoto em solo Podzólico, aponta redução do pH, conforme aumento nas doses de lodo, corroborando com os achados. Deve-se apontar que a desinfecção e estabilização do LE pode ser feita através de calagem o que evita a redução do pH (CORRÊA, 2003).

Figura 27 - Comparação de médias do pH, Índice SMP, Al+H e CTC para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)\*



\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

Para fins práticos, considera-se, na literatura, que a faixa de pH entre 6,0 e 6,5 (POTAFOS, 1998; SBCS, 2004) ou 5,5 e 6,0 (WIETHOLTER, 2000b) são as mais adequadas para a maioria das culturas comerciais, pois é nela que ocorre a melhor interação entre os macro/micronutrientes e as plantas. A faixa ótima do pH para aveia é 6,0, conforme SBCS (2004). Os tratamentos deste experimento ficaram dentro da faixa considerada adequada para a maioria das culturas, inclusive para a aveia preta, com exceção do tratamento E, que ficou com pH abaixo de 5,5.

Além disso, Boeira (2006) defende com base na Norma CETESB 4.230/99 do Estado de São Paulo, onde solos que recebem biossólido devem apresentar manutenção do pH entre os valores de 5,5 e 7,0. Isso faz com que os tratamentos deste trabalho estejam de acordo com a referida Norma, com exceção do E.

Com respeito à CTC, os resultados mostram que o tratamento que recebeu a maior quantidade de LE apresentou maior CTC (tratamento E, CTC: 29,56). O tratamento A foi o segundo colocado, CTC: 29,2, seguido pelo tratamento B, CTC:

27,96 (Tabela 10 e Figura 27), considerados altos, conforme SBCS (2004), onde os tratamentos A e E não diferiram entre si. A CTC do solo é um dos mais importantes indicadores da capacidade de retenção de metais. Solos que apresentam valores mais elevados de CTC têm, em geral, maior capacidade de adsorção de metais que os de baixa capacidade (MELO *et al.*, 2001), evidenciando os valores mais altos de Cu, Zn e Mn nos tratamentos B e E, frente aos demais (Tabela 10).

Levando em consideração os tratamentos propostos e a saturação de Al (%), é possível constatar através da Tabela 10 que a mesma é baixa (<1%), conforme determinação da SBCS (2004). Somente o tratamento E apresentou alumínio em solução (alumínio trocável) o que é esperado já que ele apresenta pH inferior a 5,5 (MELLO *et al.*, 1985). Ainda assim, a saturação da CTC por alumínio é bastante baixa já que a saturação de bases (%) o valor foi alto (>80%) em todos os tratamentos.

Com relação a MO, é possível observar (Tabela 10 e Figura 28) que o tratamento A apresentou a menor concentração da mesma. Tratamento E seguido de D e B, não apresentaram diferença significativa no nível de MO presente em sua constituição. Todavia, os tratamentos B e E receberam LE, este fato possivelmente esteja relacionado ao acréscimo de MO dos mesmos, considerando ainda que o tratamento D é composto unicamente por solo de cobertura (SC).

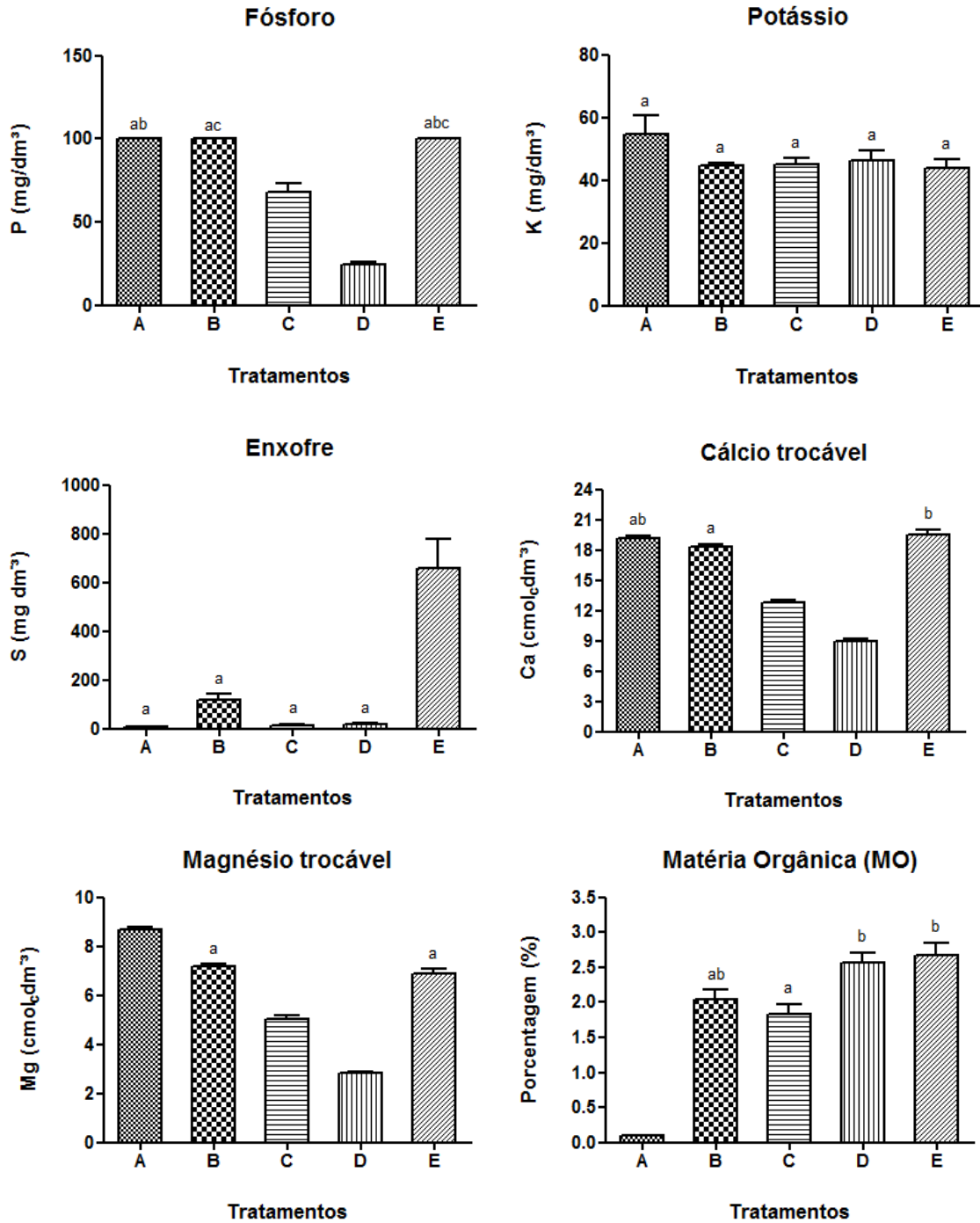
Cabe salientar que os tratamentos B e E receberam LE justamente para aumentar o teor de MO no solo. A análise estatística comprova que a aplicação de LE eleva o teor de MO o que possibilita a utilização de LE associado à RM como substituto para solos de cobertura em termos de teor MO.

Sabendo-se que a MO é um dos principais indicadores da recuperação de solos degradados (TAMANINI, 2004), é possível afirmar que o uso de diferentes doses de LE permitiu que os tratamentos B e E elevassem seus níveis de MO a concentrações favoráveis ao desenvolvimento vegetal. Ainda, a estabilização dos teores de MO impulsiona a recuperação de áreas degradadas através do acúmulo e fixação de C no solo, o qual é indispensável para o equilíbrio microbiano, estruturação do solo, retenção de umidade e adsorção e fornecimento de nutrientes, principalmente N, S e P (ANDREOLI *et al.*, 2001; TAMANINI, 2004).

A MO também é importante, pois se relaciona com o teor de nitrogênio no solo. Este pode ser estimado indiretamente através da matéria orgânica (MO), ainda que haja outros métodos, uma vez que é na MO que está o reservatório de N do

solo (DONAHUE *et al.*, 1990). Assim, o uso combinado de LE e RM, principalmente no tratamento E poderá suprir parte da demanda de N do solo para as plantas.

Figura 28 - Relação média de macronutrientes e MO para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)\*



\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

Com relação aos teores de macronutrientes, os dados para P, K, S, Ca e Mg podem ser vistos na Tabela 10 e a comparação estatística ainda na Figura 28.

Com respeito ao fósforo, é possível verificar que os tratamentos A, B e E mostraram-se com teores do elemento acima de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$ . Como apresentado anteriormente, a análise química de RM apresenta altos teores do elemento P, justificando seu uso combinado com LE como substituto ao solo de cobertura. Os teores de P foram reduzidos nos tratamentos C e D, isso foi relatado possivelmente porque o tratamento D não recebeu RM na sua constituição e o C recebeu menos em comparação com os demais. Conforme interpretação proposta por SBCS (2004), os teores de fósforo disponível nos tratamentos A, B, C e E é considerado “muito alto”, já para o D (solos 3,2%) é considerado “alto”.

No que diz respeito ao K os tratamentos suplementados com LE, apresentaram menores teores (tratamento B:  $44,6 \text{ mg dm}^{-3}$ , tratamento E:  $43,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ), porém nenhum dos tratamentos diferiu significativamente. O tratamento onde se observa maior teor de K foi no tratamento A ( $54,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) composto somente por RM. A aplicação de LE não inferiu em um aumento na concentração de K, o que vai ao encontro dos resultados obtidos na sua caracterização química do LE (baixos níveis em sua constituição).

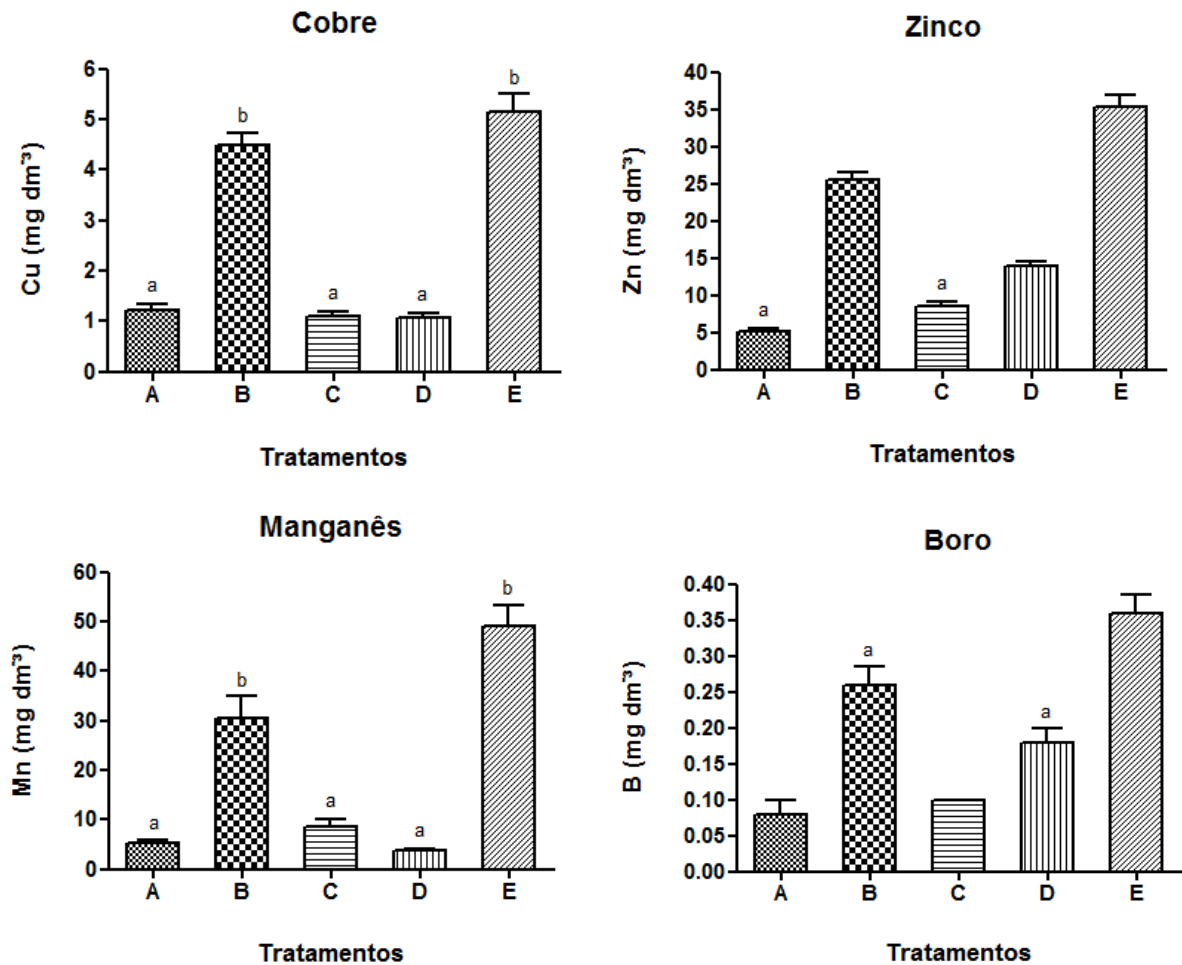
Os dados obtidos em relação ao elemento K corroboram com Tamanini (2004), que não observou diferenças significativas entre os tratamentos propostos, bem como redução no nível de K quando elevado o teor de lodo de esgoto aplicado nos tratamentos propostos pelo autor.

O teor de S foi maior nos tratamentos suplementados com LE (B e E). A adição de LE provoca aumento significativo neste nutriente, o que faz sentido dado à presença de enxofre na matéria orgânica (MELLO *et al.*, 1985). Todos os valores encontrados para S extraível classificam-se como "altos", pois apresentam resultados acima de  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  (SBCS 2004), conforme Tabela 10 e Figura 28.

Para o Ca, ainda que tenha havido variações no teor entre os tratamentos, a SBCS (2004) interpreta os resultados como sendo "altos" (teor  $> 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) para todos os tratamentos. Este resultado, também se aplica ao Mg, conforme Figura 28.

Se tratando do teor dos micronutrientes encontrados nos tratamentos propostos (Tabela 10 e Figura 29), pode-se perceber que os tratamentos B e E apresentaram as maiores concentrações de Cu, Zn, Mn e B, com relação aos demais tratamentos propostos (Figura 29).

Figura 29 - Comparação de médias dos micronutrientes Cu, Zn, Mn e B para os 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)\*



\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

A presença de LE proporcionou o aumento destes micronutrientes nos tratamentos B e E, visto que através dos resultados da análise química (Tabela 10) e estatística (Figura 29), os demais tratamentos não apresentaram valores tão elevados de Cu, Zn, Mn e B.

Conforme Mello *et al.* (1985) a disponibilidade dos micronutrientes à vegetação é pH dependente, ou seja, quanto maior for o pH do solo, maior a disponibilidade de Mo e Cl e menor a de Cu, Mn e Zn (MELLO *et al.*, 1985). Essas observações validam os achados, visto que os tratamentos B e E (mais ácidos) apresentaram maiores concentrações de Cu, Zn e Mn (Figura 29). Aumentos do pH diminuem a disponibilidade dos micronutrientes do solo, conforme pode ser visto na

Tabela 10. Desta maneira, fica evidente que a disponibilidade de Cu, Zn e Mn é afetada pelo pH, diminuindo com seu aumento.

A interpretação dos teores de Cu e Zn para todos os tratamentos é “alta”, conforme SBCS (2004). Diante deste fato, mesmo sendo significativa a diferença entre os tratamentos, não há limitação quanto ao Zn no uso de LE no solo.

Desta maneira, verifica-se que os tratamentos B e E que receberam lodo de esgoto influenciaram diretamente a presença e aumento no teor de micronutrientes quando comparado aos demais tratamentos.

#### 4.4. ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETAL

##### 4.4.1. Matéria seca vegetal

Com o objetivo de estudar a utilização de resíduo de saneamento (lodo de esgoto) e rejeito de mineração (pedreira de basalto) como substrato para crescimento vegetal em substituição ao solo de cobertura, foram estabelecidos 5 tratamentos com 5 repetições. Em todas as unidades experimentais (vasos) foram semeadas aveia preta (*Avena strigosa*) e a produção de matéria vegetal foi mensurada em termos de matéria seca da parte aérea, radicular e total. Na Figura 30 mostra-se o crescimento vegetal nas 25 unidades experimentais (UE).

Figura 30 - Crescimento vegetal das 25 unidades experimentais



Fonte: Autora, 2017



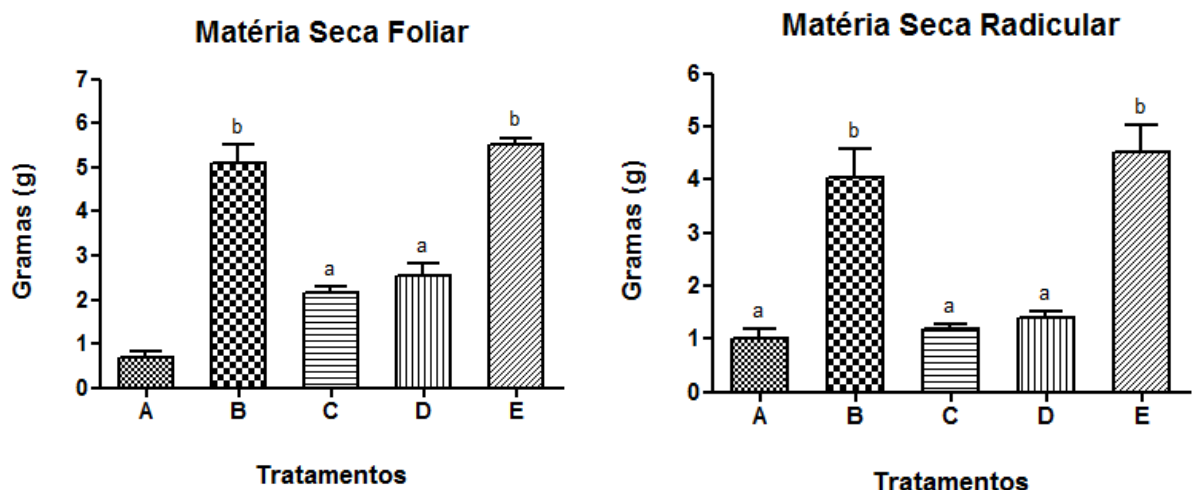
A seguir, estão relacionados os valores médios, em gramas, referentes à matéria seca foliar, radicular e total produzidos pela aveia preta, bem como altura média (cm), a partir dos tratamentos propostos no experimento, sendo (A) rejeito de mineração (0,1% MO), (B) rejeito + lodo de esgoto (1,8%MO), (C) rejeito + solo de cobertura (1,8%MO), (D) solo de cobertura (3,2%MO) e (E) rejeito + lodo de esgoto (3,2%MO), após 75 dias de crescimento. Tabela com os valores individualizados por repetição encontra-se no Apêndice A.

- Matéria seca foliar e radicular

Como pode ser visto na Figura 31, quanto à matéria seca foliar e radicular, os tratamentos B e E (com presença de lodo de esgoto) não diferiram significativamente entre si, ao mesmo tempo em que apresentaram a maior quantidade de matéria seca vegetal.

O tratamento A foi o que apresentou a menor quantidade de matéria seca, tanto para folha como raiz, provavelmente devido à deficiência de matéria orgânica e nutrientes no solo.

Figura 31 - Comparação de médias da matéria seca foliar e radicular dos 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)\*



\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

Nos vasos que receberam os tratamentos A (rejeito 0,1%MO), C (rejeito+solo de cobertura a 1,8%MO) e D (solo de cobertura 3,2%MO) foi extremamente trabalhoso realizar a separação das raízes, que na maioria das vezes se quebravam

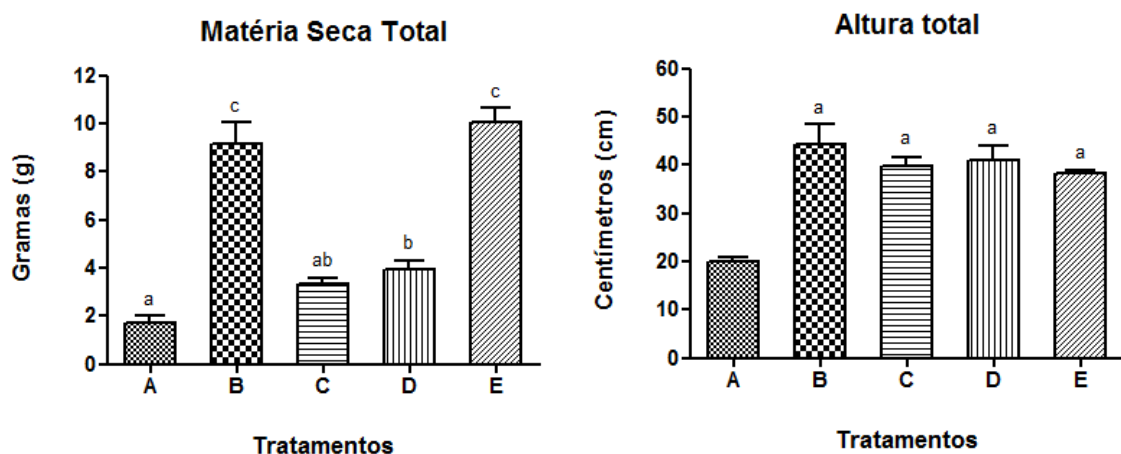


e não desgrudavam do material. Nos tratamentos que receberam o lodo, esta separação foi mais simples.

- Matéria seca total e altura total

Como pode ser visto na Figura 32, para matéria seca total, os tratamentos B e E (com presença de lodo) não diferiram significativamente entre si. Com relação à altura total, somente o tratamento A diferiu estatisticamente dos demais, apresentando a menor média de altura.

Figura 32 - Comparação de médias da matéria seca total (foliar e radicular) e alturas totais dos 5 tratamentos, sendo A (RM 0,1%MO), B (RM+LE 1,8%MO), C (RM+SC 1,8%MO), D (SC 3,2%MO) e E (RM+LE 3,2%MO)\*



\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Tukey (5%)

Verifica-se que a aveia preta cultivada com presença de lodo de esgoto (biossólido), tanto no tratamento (B) rejeito + lodo de esgoto (1,8%MO), quanto no (E) rejeito + lodo de esgoto (3,2%MO), apresenta efeitos significativos e expressivos frente aos resultados dos demais tratamentos. Na Figura 33 apresenta-se o desenvolvimento da aveia nos tratamentos aplicados, havendo diferenças consideráveis entre os mesmos, no que se refere à quantidade de matéria vegetal, apesar da altura dos tratamentos B, C, D e E não diferirem entre si.

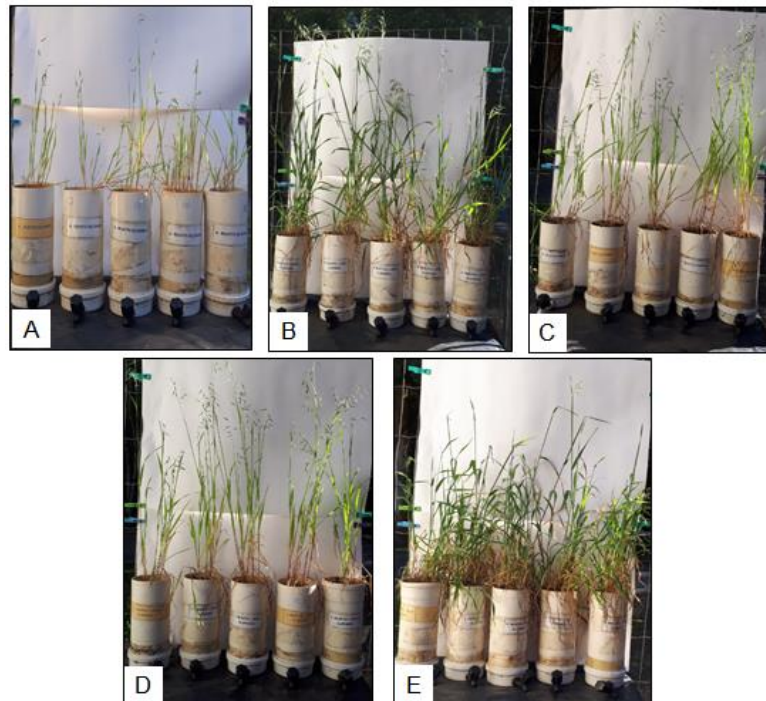
Para Olson e Kurtz (1982) o N é o nutriente que tem maior efeito no crescimento da aveia e o que, frequentemente, mais limita a sua produção de fitomassa. A disponibilidade de N estimula o crescimento e a atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de outros nutrientes (OLSON e KURTZ, 1982) e

na quantidade de matéria seca produzida pela aveia (SANTI, 2001). Segundo Mundstock e Bredemeier (2001), isto se deve ao incremento no número de afillhos da aveia preta quando fertilizada com esse nutriente.

Ainda, é possível perceber visualmente que o tratamento B, juntamente com o E apresentam significativo perfilhamento frente aos demais tratamentos (Figura 33).

Cabe salientar que foi observada alta variabilidade entre os resultados para matéria seca foliar e altura foliar, em especial no tratamento A, o qual foi utilizado somente o RM de pedreira de basalto como substrato. Atribui-se parte deste resultado à falta de matéria orgânica (MO).

Figura 33 - Crescimento da aveia-preta nos 5 tratamentos: tratamento A (A), tratamento B (B), tratamento C (C), tratamento D (D) e tratamento E (E)



Fonte: Autora, 2017

Levando em consideração a produção de matéria seca como um indicativo de recuperação de áreas degradadas, o tratamento E que teve aplicação de maior teor de biossólido, produziu maior quantidade de biomassa, em média 10,03 gramas de matéria seca total, ao contrário do tratamento A, que produziu apenas 1,71 gramas (Figura 32). O tratamento D teve produção de 3,94 gramas, o que não era esperado neste último caso, considerando a presença de nutrientes neste solo e melhor estrutura física (textura média), em comparação com o tratamento E (textura arenosa), conforme mencionado anteriormente.

No que diz respeito ao desenvolvimento da aveia nos tratamentos que foi utilizado biossólido (B e E), observou-se a semelhança dos resultados. Esse resultado indica que a aplicação de LE contribuiu substancialmente para o crescimento vegetal. O acréscimo em termos de matéria seca foliar e radicular foi significativamente maior do que nos demais tratamentos, o que nos faz acreditar que o biossólido foi uma fonte viável de matéria orgânica.

Pode-se observar que a maior disponibilidade de nutrientes, representada pelos tratamentos B e E, levou ao melhor desenvolvimento das plantas. Isso foi comprovado pelo aumento na produção de matéria seca, o que corrobora para o uso de LE na recuperação de áreas degradadas, onde a biomassa se apresenta como indicação no processo de recuperação.

De maneira geral, observou-se que a aveia preta respondeu positivamente à aplicação do lodo de esgoto e que os tratamentos com RM (material de controle) mais LE (fonte de nutrientes) promoveram melhores respostas, superando o tratamento composto por SC. Isto reflete em vantagem a substituição do solo de cobertura pela aplicação da mistura de rejeito de mineração de basalto e de lodo de esgoto.

#### **4.4.2. Análise química do tecido vegetal**

A análise química de tecido vegetal objetiva diagnosticar ou confirmar a presença, deficiência ou toxidez de algum elemento ou nutriente.

Neste sentido, estão apresentados na Tabela 11 os valores médios para os compostos químicos encontrados no tecido vegetal foliar e radicular da aveia preta. Para os tratamentos A, C e D, esses valores encontram-se como um valor total (mistura das repetições). Entretanto, para B e E, esses valores são referentes à média de três repetições. É necessário ressaltar que os tratamentos A, C e D tiveram sua análise estatística comprometida, nos quais não foi possível fazer a ANOVA, pois estes tratamentos não apresentaram matéria vegetal suficiente para ser efetuada a análise química dos tecidos (foliar e radicular) individualmente em cada vaso. Por essa problemática, juntou-se os materiais das 5 repetições dos tratamentos A, C e D para que se conseguisse obter um montante em gramas suficiente para a realização da análise química. Em contrapartida, foi realizada ANOVA para os tratamentos B e E, os quais tiveram os melhores resultados, mas

também teve certo prejuízo visto que somente foi realizada análise química para 3 repetições, comprometendo a análise estatística. Os resultados da análise química do tecido vegetal encontra-se no ANEXO E.

Os maiores teores foliares dos macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S), com exceção do K, ocorreram nos tratamentos que receberam biossólido, o que concorda com a composição deste material, conforme verificado na análise química.

A concentração de nitrogênio foliar foi influenciada pela quantidade de LE adicionada às misturas. O tratamento B apresentou 14 g kg<sup>-1</sup> e o tratamento E 25 g kg<sup>-1</sup>, estando este último, dentro do valor (20-30 g kg<sup>-1</sup>) estabelecido para a cultura, conforme (SBCS, 2004). Houve diferença significativa entre estes dois tratamentos, corroborando com os resultados de Da Ros (1993) no que se refere à disponibilidade de nitrogênio para as plantas, visto que o tratamento E recebeu maior quantidade de LE. Similarmente, a presença de lodo também contribuiu para o aumento dos teores de nitrogênio em tecido radicular.

Tabela 11 - Valores médios da análise de tecido vegetal nos 5 tratamentos propostos A, B, C, D e E

	A (RM) (0,1% MO)	B (RM+LE) (1,8% MO)	C (RM+SC) (1,8% MO)	D (SC) (3,2% MO)	E (RM+LE) (3,2% MO)	Padrão*
(g kg <sup>-1</sup> )						
Nitrogênio foliar	8,90	14,00	9,60	7,00	25,00	20-30
Nitrogênio radicular	4,80	10,63	7,20	9,80	14,33	
Fósforo foliar	2,30	2,53	2,20	2,10	3,43	2,0-5,0
Fósforo radicular	1,20	2,53	1,30	1,10	3,57	
Potássio foliar	17,00	9,67	15,00	15,00	9,73	15-30
Potássio radicular	4,10	2,30	4,20	3,90	1,43	
Cálcio foliar	3,70	4,23	2,50	2,30	5,20	2,5-5,0
Cálcio radicular	9,40	8,53	7,40	3,60	7,93	
Magnésio foliar	1,90	2,37	1,60	1,30	3,17	1,5-5,0
Magnésio radicular	4,20	3,47	2,90	1,30	2,70	
Enxofre foliar	1,30	4,10	1,40	1,40	7,83	1,5-4,0
Enxofre radicular	0,90	3,00	1,30	1,60	3,77	
(mg kg <sup>-1</sup> )						
Cobre foliar	5,00	7,00	4,00	4,00	9,67	5-25
Cobre radicular	43,00	63,67	33,00	20,00	73,00	
Zinco foliar	29,00	65,67	38,00	80,00	124,33	15-70
Zinco radicular	148,00	266,00	131,00	136,00	302,00	
Ferro foliar	321,00	170,00	890,00	0,56%(m/m)	165,67	40-150
Ferro radicular	21.000	19.300	15.000	5.500	20.100	
Manganês foliar	180,00	354,33	80,00	73,00	340,33	25-100
Manganês radicular	660,00	592,67	308,00	126,00	558,00	
Boro foliar	12,00	6,33	8,00	11,00	10,33	5-20
Boro radicular	10,00	6,00	12,00	14,00	7,33	

\*padrão para a cultura aveia preta, conforme SBCS, 2004

Os teores de P encontram-se dentro dos valores usuais para a cultura da aveia preta em todos os tratamentos (SBCS, 2004), onde o maior valor foi observado no tratamento E (3,43 g kg<sup>-1</sup>). Contudo, nota-se que os menores teores de K foram observados nos tratamentos que receberam biossólido. Sendo assim, quanto às doses de biossólido usadas neste estudo, foi possível verificar que as mesmas não supriram quantitativamente o elemento K para o biomodelo empregado (SBCS, 2004). Este fato se deve, pois conforme afirma Andreoli *et al.* (2001) o K é altamente solúvel em água e no processo de tratamento do esgoto, fica contido no efluente líquido.

Considerando ainda os macronutrientes, os resultados demonstram maiores teores de cálcio em tecido foliar nos tratamentos que receberam biossólido, em comparação com os demais. O Ca também mostrou maiores quantidades absorvidas pela aveia em comparação com o Magnésio, conforme esperado, dado que geralmente as plantas absorvem maiores quantidade de Ca que Mg. As quantidades de cálcio absorvido pelas plantas estiveram dentro do sugerido como padrão (SBCS, 2004) em todos os tratamentos.

A presença do lodo também contribuiu para o aumento dos teores de enxofre, tanto da parte aérea como radicular, o que é de se esperar já que o S é um elemento integrante de moléculas orgânicas.

Desta maneira, conforme o exposto, comprova-se que a aplicação de lodo aumenta a oferta de nutrientes no solo (principalmente N, P e S) que estão diretamente relacionados à matéria orgânica. Conforme esclarecido por Garcia *et al.* (2009), lodos de esgoto são em geral desbalanceados quanto aos níveis de nutrientes, necessitando muitas vezes de uma suplementação na adubação com fontes minerais, principalmente em termos de potássio.

O acúmulo de metais pesados pode ser muito variável de um órgão para outro dentro da planta. Conforme Marschner (1995), os teores de metais pesados, incluindo também os micronutrientes, de maneira geral apresentam concentrações na matéria seca das plantas na seguinte ordem: > nas raízes > folha, > frutos carnosos > sementes.

De acordo com Marques *et al.* (1997), espécies tolerantes geralmente acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea, sendo que plantas que crescem em áreas contaminadas por metais pesados não conseguem evitar a absorção destes elementos, mas limitam sua translocação.

Neste contexto, verifica-se que os micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn apresentaram maiores teores na matéria seca radicular. O ferro no tratamento C, referente ao solo de cobertura, apresentou os menores teores em tecido radicular frente aos demais tratamentos. Seguido pelos tratamentos B e E, que receberam biossólido. Se tratando do Mn, a concentração mostra-se superior nos tratamentos com presença de LE e RM, inclusive superior ao padrão e diferente do resultado encontrado por Firpo (2015), onde a aplicação de lodo reduziu significativamente a presença desse elemento, quando o lodo foi acompanhado por agentes alcalinizantes.

O Zn além de um micronutriente essencial aos vegetais é um metal pesado que pode poluir o ambiente (WERNER *et al.*, 1996). A concentração de Zn foi aumentada pela adição de lodo, tanto em tecido radicular como foliar, extrapolando valores naturalmente encontrados para esta planta no tratamento E, conforme Tabela 11. Nascimento *et al.* (2004) também observaram incremento na absorção deste elemento com o aumento das doses de biossólido, que no entanto se manteve em níveis adequados.

Assim como o Zn, o Cu além de micronutriente é metal pesado, contudo os teores observados deste não ultrapassaram os limites para a cultura (SBCS, 2004), sendo que o mesmo foi observado para o elemento B, para todos os tratamentos.

Nos tratamentos que tiveram presença do LE, nenhum apresentou deficiência de micronutrientes. Há de se observar que os micronutrientes podem não só apresentar deficiência em sua concentração, mas também toxicidade caso excedam os limites admissíveis para a cultura em questão. Manganês, por exemplo, pode chegar a teores especialmente tóxicos em ambiente ácido (RAIJ, 2011).

Em termos gerais, os tratamentos com maior crescimento vegetal (tratamentos B e E) apresentaram níveis de macro e micronutrientes dentro da faixa de suficiência indicada no manual de adubação e calagem (SBCS, 2004), com exceção do K. Nossos achados corroboram com o trabalho de Firpo (2015), visto que o lodo aumentou as concentrações de Cu, Zn e Mn.

Rate (2004) reporta que experimentos em vasos tendem a superestimar a absorção de metais pelas plantas, já que as raízes estão impedidas de explorar áreas não contaminadas e porque as temperaturas do solo tendem a ser mais altas.

Os resultados se explicam não só em função das características dos materiais, mas também em função do pH do solo e da solubilidade dos elementos

em questão. Conforme Mello *et al.* (1985), a disponibilidade de micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) à vegetação acontece com menores valores de pH, comprovando os achados deste experimento. É importante lembrar que o comportamento dos nutrientes em tecido vegetal está vinculado não só à carga acumulada no substrato em função de sua adição, mas também resulta da relação com parâmetros como pH, saturação dos complexos de troca, mineralogia entre outros. Não coincidentemente, as melhores taxas de crescimento ocorreram onde houve maior equilíbrio no teor de macro e micronutrientes no tecido vegetal, mostrando que misturas que tiveram o lodo integrado (tratamentos B e E), resultaram em substrato balanceado.

Comparando-se os resultados em termos de concentração de nutrientes em tecido vegetal nos dois melhores tratamentos (B e E) por meio de análise estatística, observa-se que para tecido radicular, somente há diferença significativa para o nitrogênio e magnésio. Já para nutrientes em tecido foliar, há diferença significativa para quatro dos 11 elementos avaliados, sendo nitrogênio, fósforo, enxofre e zinco.

O conjunto dos resultados mostra a forte influência do LE como fonte de nutrientes, mesmo quando comparado com o uso de solo de cobertura. Frequentemente, biossólidos são excelentes produtos para solos de áreas mineradas quando não há solo disponível ou quando este tem baixos teores de matéria orgânica (USSIRI e LAL, 2005). Por exemplo, estudo de Wick *et al.* (2013) mostra resultados onde a aplicação de biossólidos em solos pós mineração de areia garantiu, em curto espaço de tempo, maiores ganhos em produtividade e em longo prazo promoveu a estabilização de C e N quando comparado à simples aplicação de solo de cobertura.

Vários trabalhos têm sido publicados considerando o uso de lodo de esgoto como fonte de nutrientes e matéria orgânica em solo agrícola (ANDREOLI *et al.*, 2001; PEGORINI, 2002; LEMAINSKI, 2003; GARCIA *et al.*, 2009) e mais especificamente em solo de áreas degradadas por mineração, conforme Rate *et al.* (2004), abordando não só o crescimento vegetal, mas também melhorias físicas e biológicas (USSIRI e LAL, 2005). De modo geral, entende-se que os benefícios da adição de nutrientes e matéria orgânica repercutem positivamente no estabelecimento e na manutenção de uma cobertura vegetal permanente e saudável sobre áreas em recuperação. Para o caso de materiais geradores de drenagem ácida, sendo o uso de biossólido promotor do crescimento vegetal (FIRPO, 2015),

seu uso reduz, também, a percolação de água e oxigênio pelo perfil, limitando, portanto, a geração de lixiviados ácidos associados a uma maior estabilidade na superfície com menores perdas por erosão (DANIELS e ZIPPER, 2010).

Shirota e Rocha (1997) reiteram esta conclusão não considerando o lodo de esgoto como um fertilizante orgânico substituto da adubação convencional, mas que este deve ser visto como um complemento desta adubação, no sentido de reduzir a utilização de fertilizantes químicos e, com isto, reduzir o custo da adubação.

Em solos degradados, em que se verifica a perda do horizonte orgânico, a principal fonte de carbono para utilização microbiana é a biomassa das plantas que venham a se estabelecer. Enquanto não se verificar a acumulação de matéria orgânica do solo, os níveis da atividade microbiana e o crescimento da vegetação permanecem baixos.

Segundo SOPPER (1993), a aplicação de lodo proporciona rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas em áreas degradadas. Conforme o autor, nos tratamentos com lodo, as plantas se mostraram mais vigorosas com maior porcentagem de cobertura, maiores produtividades e melhor desenvolvimento do sistema radicular, corroborando com os resultados desta pesquisa. Entretanto, cabe ressaltar que a adição de lodo ao solo deve ser feita com cuidado. Os sítios ativos da matéria orgânica podem atuar adsorvendo ou mesmo liberando metais para o meio, além de nutrientes, como pode vir a ser o caso em solos ácidos decorrentes da mineração (SKOUSEN e CLINGER, 1993). Salienta-se, desta forma, a importância da análise química prévia para verificar a concentração destes elementos, bem como a presença de agentes patogênicos, conforme determina a legislação.

Deste modo, com base nos resultados apresentados, cabe comentar que o método proposto neste trabalho através do uso de rejeito de mineração - RM - como material de controle, associado ao lodo de esgoto - LE - como fonte de nutrientes e matéria orgânica é adequado e eficiente quando comparado ao uso de solo de cobertura - SC -, considerando a gramínea forrageira (aveia preta) como bioindicadora de resposta.



## 5. CONCLUSÕES

A combinação de rejeito de mineração (pedreira de basalto) e lodo de esgoto (UASB/ETE) a diferentes teores de matéria orgânica (1,8% e 3,2%) apresentaram propriedades químicas e físicas em níveis adequados para um bom desenvolvimento de aveia preta (*Avena strigosa*), podendo ser substituído pelo uso de solo de cobertura.

A melhor resposta de crescimento obtida pela aveia preta, levando em consideração a produção de matéria seca vegetal, ocorreu quando a mistura dos materiais foi composta por rejeito de mineração e lodo de esgoto, não havendo diferença significativa no teor de MO (1,8% e 3,2%). A produção de matéria seca de *A. strigosa* teve um aumento aproximado de 6 vezes com a utilização do lodo de esgoto (LE) em comparação com o tratamento que usou somente rejeito de mineração e aproximadamente 3 vezes em comparação com o solo de cobertura.

Os tratamentos compostos por LE possuem vantagens proliferativas frente aos demais tratamentos, comprovado pelo alto rendimento da aveia preta. Além disso, os mesmos refletiram nos teores de macro e micronutrientes detectados no tecido foliar vegetal, onde foi possível perceber que estes encontravam-se, em sua maioria, dentro dos padrões estabelecidos para esta espécie.

Por fim, este estudo mostrou a eficiência do LE, no que diz respeito ao crescimento vegetal e, conseqüentemente, promissora a perspectiva do uso do mesmo para recuperação de áreas degradadas. A mistura de LE e RM configura-se em uma alternativa para promover a cobertura de áreas degradadas, auxiliando na mitigação e/ou redução dos impactos ambientais, principalmente o impacto visual relacionado à extração de basalto, nas minerações próximas a centros urbanos. Além disso, os resultados sugerem que o LE proporcionaria uma redução na aplicação de fertilizantes minerais e, com isso, melhoraria as propriedades do solo, contribuindo também para destinação final deste resíduo ao invés da disposição em aterros.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar:

- Ampliar a escala de estudo para vasos maiores ou para o campo, considerando o resultado dos melhores tratamentos deste experimento;
- Aprofundar os estudos das propriedades físicas e biológicas do solo;
- Estudar outra espécie de gramínea, como bioindicadora de resposta na recuperação ambiental, priorizando o uso de espécie nativa;
- Fazer um levantamento das áreas mineradas que estão em processo de recuperação ou que já são consideradas áreas de passivos ambientais, aliadas à proximidade das ETE dos municípios, com vistas a utilizar o lodo de esgoto na recuperação das mesmas, considerando a viabilidade;

## REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P e MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In **Anais do III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas** - Editado por Luiz Eduardo DIAS, Jaime Wilson Vargas de MELLO. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Viçosa, MG, 1998. 251 p:il.
- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**, New York: Springer-Verlag, 533 p. 1986.
- ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. 2010. xxi, 221 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geologia Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: Associação Nacional Para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. Boletim Técnico nº 3.
- ALMEIDA, W, C. **Análise da respiração microbiana e das populações de *Acarí* e *Collembola* na recuperação de áreas degradadas com a utilização do lodo de esgoto**. 135 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- ANDREOLI, C. V.; DOMASZAK, S. C; FERNANDES, F.; LARA, A. I. **Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná** – Revista SANARE, v. 7, nº 7, jan/jun 1997.
- ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- ANDREOLI, C. V. e PEGORINI, E. S. Gestão Pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. (orgs) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Campinas, SP, 2000 p. 281 -312.
- ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F., E ds. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG; Sanepar, v.6, 2001. 484 p.
- ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, Gabriel de Araújo *et al.* (Comp.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 6, p. 65-86.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. **Impacto Ambiental do uso de lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. Cap. 9, p. 179-195.

BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. **Reciclagem de lodo de esgoto na agricultura**. Biodegradação. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p. 93–113, 2001.

BIAN, Z.; INYANG, H. I.; DANIELS, J. L.; OTTO, F.; STRUTHERS, S. **Environmental issues from coal mining and their solutions**. Mining Science and Technology v. 20. p. 0215-0223, 2010.

BISSANI, C. A; GIANELLO, C; CAMARGO, F. A. O; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2ª ed. Porto Alegre, RS: Metrópole, 2008.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: aplicabilidade da resolução Conama 375/06**. 2014. 257 f. Tese (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BOEIRA, R. C. **Lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: acidez do solo**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 3p.

BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas em recuperação com forrageiras e cafeeiro pós - mineração de bauxita**. 2013. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BRASIL. Decreto-Lei nº 1985, de 29 de março de 1940. (Código de Minas). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 de janeiro de 1940. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1937-1946/Del1985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del1985.htm)> Acesso em 01/07/2017.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Da nova redação ao Decreto-Lei nº 1.985 de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de novembro de 1967. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm)> Acesso em 01/07/2017.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 de setembro 1981.

Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 28 de abril de 2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado, 1988.

Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 05/07/2017.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 de abril de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm)> Acesso em: 28 de abril de 2017.

BRASIL. Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996. Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 de novembro de 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9314.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9314.htm)>. Acesso em 01/07/2017.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acesso em 01/07/2017.

BRASIL. Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM), extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2017/Lei/L13575.htm#art39](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13575.htm#art39)>. Acesso em 17/04/2018.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos-2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181 p.

BROWN, I. Quarrying. In DARLING, p. (edited). **SME Mining Engineering Handbook**. 3<sup>rd</sup> Ed. [S.1.]: Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2011. Cap. 10. 11, p.1031-1046.

CAMARGO, C. E. O.; FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H. Aveia e centeio. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *et al.* (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 52-53. Boletim Técnico, 100.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. **Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, 2008, p. 62-632.

CARVALHO, P. H. T. e BARRAL, M. F. **Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante** – Fertilizantes. São Paulo, v.3, nº 2 (1981).

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** R. Bras. Ci. Solo, 22: 527- 538, 1998.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação.** Manual Técnico, São Paulo, 1999. 35p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Ministério de Mina e Energia. 2016. Disponível em:

[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf). Acesso em: 16 de março de 2018.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. Resolução Consema nº 327 de 2016. Dispõe sobre o licenciamento ambiental aplicado aos taludes finais de lavra de substâncias minerais para emprego imediato na construção civil, quando mineradas em bancadas a céu aberto. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, RS, 20 de outubro de 2016. Disponível em:

<<http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/09160120-2016-resolucao-consema-n-327-lic-ambiental-aplicado-taludes-finais-de-lavra-de-subst-minerais-construcao-civil.pdf>>. Acesso em: 08 de julho de 2017.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. Resolução Consema nº 372 de 2018. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidoras ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, RS, 02 de março de 2018. Disponível em:

<http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/02144314-2018-resolucao-consema-n-372-2018-dispoe-empreendimentos-ativ-utilizadoras-recamb-poluidores-oudegradacao-amb-passiveis-licenciamento-02-03.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Conama nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, 17 de fevereiro de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 28/04/2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União**, 22 de dezembro de 1997. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi>. Acesso em 28/04/2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Conama nº 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 agosto de 2006a. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 08 de julho de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Conama nº 380 de 31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA no 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 novembro de 2006b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=514>.

Acesso em: 08 de julho de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Conama nº 420 de 28 de dezembro de 2009. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dezembro de 2009. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 08 de julho de 2017.

CORRÊA, S., R.; **Eficiência agronômica e produção vegetal de cinco bio sólidos aplicados a dois solos tropicais**. Revista técnica da Sanepar, Curitiba, v.20. p. 49-57, 2003.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação**. Brasília: Universa, 2005. 186 p.

CURI, A. **Lavra de minas**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2017. 462 p.

DALMORA, A. C.; RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; KAUTZMANN, R. M. ; OLIVEIRA, M. L. S. ; TAFFAREL, S. R.; MORENO, T.; SILVA, L. F. O. **Nanoparticulate mineral matter from basalt dust wastes**. Chemosphere (Oxford) **JCR**, v. 144, p. 2013-2017, 2016.

DANIELS. W. L. Manipulating the chemical properties of mine soils and mining wastes. In: ALVARES V., V. H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M. P. F., ed.. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996, p. 867-897.

DANIELS, W. L. e ZIPPER, C. E. **Creation and management of productive mine soils**: Virginia Cooperative Extension, Reclamation Guidelines for Surface Mined Land in Southwest Virginia, Powell River Project, Petesburg: Virginia Polytechnic Institute and State University Publication 460-121, 2010.

DARLING, P. **SME Mining engineering handbook**. 3<sup>rd</sup> ed., Littleton: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, 2011. 1984 p.

DA ROS, O. **Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca**. Rev. Bras. de Ci. Solo, Campinas, v.17, p.257-261,1993.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p.955-990, 2007.

DONAHUE, R. L.; MILLER, R. W.; SHICKLUNA, J. C. **Soils: An introduction to soils and plant growth** (5th ed.). Prentice-Hall, 234 p, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 01).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa solos**. Circular técnica nº 6. Rio de Janeiro, 2000. 41. p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3<sup>a</sup> ed. Brasília, 2013. 342. p.

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

FIRPO, B. A. V. **Produção de solo a partir de rejeito de carvão mineral**. 2015. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FLOSS, E. L. **As lavouras de inverno: aveia, centeio, triticale, colza e alpiste**. Rio de Janeiro: Globo, 1988, 15-74.

FONTANELI, R. S., SANTOS, H. P., FONTANELI, R. S., **FORAGEIRAS para Integração Lavoura-Pecuária** - Floresta na Região Sul-Brasileira. Embrapa, Brasília, DF, 2012. 274 f. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119972/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.

FONTES, M. P. - **Influência do nível freático no sequenciamento de lavra aplicado ao planejamento estratégico de lavra**. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Status of the World's Soil Resources**. 2015. 650. p. Disponível em:



<http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50>. Acesso em: 10/03/2018.

FORNASARI FILHO, N.; NAKASU, L.; PRANDINI, F. L.; GODOY, F. R. Experimentos de revegetação destinados ao controle de erosão em corpos de bota-fora da Mina de Cana Brava, GO. In **Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 34, 1986, Goiânia. Goiânia: SBG, 1986, V. 1, p. 494-499.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Portaria FEPAM nº 03 de 2018. Estabelece critérios e prazos para o licenciamento ambiental de projetos de recuperação de áreas mineradas – PRAD e dá outras providências em relação aos passivos de mineração. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, RS, 08 de janeiro de 2018. Disponível em:

<https://sogi8.sogi.com.br/Arquivo/Modulo113.MRID109/Registro1287511/portaria%20fepam%20n%2003%20de%2005012018.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2018.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO A. A.; BRAGANÇA, H. N. **Características químicas de um solo degradado após a aplicação de lodo de esgoto doméstico**. Revista Verde v.4, n.2, p.01 - 12, 2009.

GHOSE, M. K. **Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land**. TIDEE – TERI Information Digest on Energy and Environment 4(2), 137-150, 2005.

GOLDBERG, S. e GLAUBIG, R. A. **Effect of saturatin cation, pH and aluminum and iron oxide on the floccuation of kaolinite and montmorillonite**, *Clays and Clay Minerals*, v. 35, n.3, p. 220- 227, 1987.

HUNTER, F. e CURRIE, J. A. **Structural changes during bulk soil storage**. *Journal of Soil Science* 7, 75-86, 1956.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS - IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96 f.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM: **Gestão e Manejo de Rejeitos de Mineração**. Brasília, 2016.

JOHNSON, D. B.; WILLIAMSON, J. C.; BAILEY, A. J. **Microbiology of soils at opencast sites**. I. Short and Long- term transformation in stockpiled soils. *Journal of Soil Science* 42, 1-8, 1991.

JOHNSON, D. B. e WILLIAMSON, J. C. **Conservation of mineral nitrogen in restored soils at opencast mines sites**: I. Result from field studies of nitrogen transformations following restoration. *European Journal of Soil Science* 45, 311-317, 1994.

JUDD, W. S., CAMPBELL, C. S., KELLOGG, E. A., STEVENS, P. F. e DONOGHUE, M. J. 2009. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3 ed., Artmed, Porto Alegre.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2ª edição, Guaíba: Agrolivros, 2005. p. 45 - 72.

KÄMPF, N. e STRECK, E. V. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: **Solos**. CPRM, Porto Alegre, 2010.

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

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. **Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries**. Waste Management, v. 32, p. 1186-1195, 2012.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. - Piracicaba: Agronômica Ceres (1985).

KOPEZINSKI, I. **Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre. ED. Universidade/UFRGS, 2000. 103 p.

KRATZ, D. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth.** 2011. 121 F. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LAMBAIS, M. R., CARMO, J. B., **Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais**. São Paulo. 10p. 2008

LAUBER, C. L.; HAMADY, M.; KNIGHT, R.; FIERER, N. **Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale**. Applied and Environmental Microbiology, v. 75, n.15, p. 5111–5120, aug 2009.

LEMAINSKI, J. **Biossólido como fertilizante na agricultura do Distrito Federal**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Medicina Veterinária) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2003.

LINHARES, P. de T. F., MENDES, C. C. & LASSANCE, A. **Federalismo à brasileira: questões para discussão**. Brasília: IPEA, 2012, vol. 8, 249 p.

MARQUES, T. C. L. L. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Crescimento de mudas de espécies arbóreas em solo contaminado com metais pesados. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, 3., 1997, Ouro Preto.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARX, D. H.; BERRY, C. R.; KORMANIK, P. P. Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: Symposium Sponsored By Divisions S-6 And S-7 Of The Soil Science Society Of America And A-5 Of The American Society Of Agronomy, 1995 Cincinnati, Ohio. **Agricultural utilization of urban and industrial byproducts**: proceedings. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995. p.275-295. (ASA special publication, 58). Editors, D. L. Karlen, R. J. Wright, and W. D. Kemper.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. **Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral**. Pesq. Agropec. Bras., 43:1221-1230, 2008.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M.O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. 3ª ed. Piracicaba, SP: Nobel, 1985.

MELO, W. J.; SILVA, F. C.; MARQUES, M. O.; BOARETTO, A. E. Critérios para o uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In **anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO**, 26, 1997, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).

MELO, W. J.; e MARQUES, M. O. Potencial do Lodo de Esgoto como Fonte de Nutrientes para as Plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo**. In: Tsutiya, M. T.; Comparini, J. B.; Além Sobrinho, P.; Hespanhol, I.; Carvalho, P. C. T.; Melfi, A. J.; Melo, W. J.; Marques, M. O. (ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 289-363.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA): IBAMA. **Licenciamento Ambiental Federal – Manual de Normas e Procedimentos para o Licenciamento Ambiental no Setor da Extração Mineral**. Brasília – DF, 2001. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/MANUAL\\_mineracao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/MANUAL_mineracao.pdf). Acesso em: 28 de abril de 2017.

MOLINA, M. V. **Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação do biossólido**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MORAIS NETO, S. P.; ABREU JÚNIOR, C. H.; MURAOKA, T. **Uso de Biossólido em Plantios Florestais**, 2007.

MUNDSTOCK, C. M. e BREDEMEIER, C. **Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilamento e o rendimento de grãos de aveia**. Ci. Rural, 32:205-211, 2001.

NASCIMENTO, C., W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. - **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto** – Revista Brasileira de Ciência do solo, 28: 385-392, 2004.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F. e GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP** - Companhia Energética de São Paulo. (Caderno, 3), 2011.

NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M. de; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. O. **Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas.** Enciclopédia Biosfera. Goiânia, v.8, n.14, 2012. 2121p.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, p.161–168, 2002.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Ed.) **Soil resilience and sustainable land use.** Wallingford: Cab International, p.99-118, 1994.

OLIVEIRA FILHO, J. M.; CARVALHO, M. A.; GUEDES, G. A. **Matéria orgânica do solo.** Inf. Agropec. Belo Horizonte, v.13, n.147, p.22-24, 1987.

OLSON, R.A. e KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J., ed. **Nitrogen in agricultural soils.** Madison, Soil Science of American, 1982. p.567-604.

PEGORINI, E. S. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba.** 2002. 236 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PICARELLI, S.; KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L.; BUGIN, A. Modelo de revegetação para recuperação e adequação de áreas degradadas pela lavra na Pedreira Santa Tecla - RS. **In anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA À CÉU ABERTO**, 2. Belo Horizonte, 2002. (Em Cd, Trabalho 58).

PIRES, A. M. M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: Aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de bio sólidos.** 2003. 106 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, 2003.

POTAFÓS – **Manual internacional de fertilidade do solo** – Instituto da potassa e fosfato, POTAFÓS, tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes – 2ª edição revisada e ampliada, Piracicaba, SP: POTAFÓS, 1998, 177p.:il.

QUARESMA, L. F. **Perfil da mineração de ferro.** Relatório técnico In: BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Desenvolvimento de estudos para elaboração do

plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. 2009.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M. L. S.; PIRES, K.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, L. F. S. **A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer**. Science of the Total Environment, v. 512-513, p. 371-380, 2015.

RAMOS. C. G.; SCHNEIDER, I. A. H.; SILVA. L. F. O. ; DALMORA., A. C. ; PIRES, K. C. J.; KAUTZMANN, R. M. **Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer**. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, v. Journal of, p. 2700, 2017.

RATE, A.W.; LEE, K.M.; FRENCH, P. A. Application of biosolids in mineral sands mine rehabilitation: use of stockpiled topsoil decreases trace element uptake by plants. **Bioresource Technology**. v.91, p. 223–231, 2004.

REICHMANN NETO, F. Recuperação de áreas degradadas pela construção de barragens. **In Anais do I Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas** - Maurício BALENSIEFER (coordenador). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Silvicultura e Manejo e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), 25 a 29 de outubro de 1992, 132-136p. 520p.il editora da UFPR.

REICHERT, J. M. e REINERT, D. J.; **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006. Disponível em:  
<[http://portais.ufg.br/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_\\_texto.pdf](http://portais.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf)>.  
Acesso em: 12/12/2017.

RIBEIRO, A. R. **Mecanização no preparo de solo em áreas degradadas por mineração na floresta nacional do Jamari (Rondônia - BR)**. 2005. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Setor de Máquinas Agrícolas, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2005.

ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTAM, C. A.; FRIES, M. R. **Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, 1991.

ROUSK, J.; BÅÅTH, E.; BROOKES, P.; LAUBER, C. L.; LOZUPONE, C.; CAPORAS, J. G.; KNIGHT, R.; FIERER, N. **Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil**. ISME Journal, v.4, p. 1340–1351, 2010.

SAMPAIO. T. F. **Crescimento de espécies nativas da mata atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta á aplicação de lodo de esgoto**. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, São Paulo, 2010.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>>. Acesso em: 02/11/2017.

SANCHEZ, Pedro A. **Suelos de los trópicos** – San Jose, Costa Rica, IICA, 1981, 634p.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. Curitiba, 1999.

SANTI, A. **Adubação nitrogenada na aveia preta (*Avena strigosa*, Schieb): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão**. 2001. 78 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SANTOS, H. F. Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M. von.; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DES A - UFMG & Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 2001. v. 6: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final p. 425-464.

SANTOS, K. B. **Integração de lodo de ETE a resíduo de mineração de basalto para recuperação de áreas degradadas**. 2017. 62 f. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Curso de Engenharia Ambiental, Porto Alegre, 2017.

SHIROTA, R. e ROCHA, M. T. **Análise do mercado potencial agrícola do lodo de esgoto biológico resultante do tratamento de esgotos urbanos na região de Limeira SP**. Piracicaba: FEALQ (Relatório apresentado à empresa Águas de Limeira S/A.), 1997. 85p.

SILVA, S. M. C. P., FERNANDES, F, SOCCOL, V. T, MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo, capítulo 3 – in ANDREOLI, C. V.– **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**/ Cleverson V. Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG: Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 6) 69-122p.

SILVA, M. L. de S.; VITTI, G. C.; TREVISAM, A. R. **Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação**. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.42, n.4, p.527-535, 2007.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. **Revista Espaço da Sophia**, v1, n.08, 2007.

SILVA, F. M; CHAVES, M. S; LIMA, Z. M. C; **Propriedades dos solos-características químicas e mineralógicas**. UFRN-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. 240 p. Disponível em: <[http://sedis.ufrn.br/bibliotecadigital/site/pdf/geografia/Geo\\_Fis\\_II\\_Livro\\_WEB.pdf](http://sedis.ufrn.br/bibliotecadigital/site/pdf/geografia/Geo_Fis_II_Livro_WEB.pdf)> Acesso em: 13/01/2018.

SILVA, D. R. A e ZANINI, L . F. P. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: **Potencial mineral para não-metálicos na região metropolitana e Porto Alegre**. CPRM, Porto Alegre, 2010.

SILVIS ENVIRONMENTAL. **Land application guidelines for the organic matter recycling regulation and the soil amendment code of practice: best management practices**. Victoria: BC Ministry of Environment, 2008. 300 p. DOCUMENTO SYLVIS # 758-08.

SKOUSEN, J. e CLINGER, C. **Sewage sludge land application program in West Virginia**. Journal of Soil and Water Conservation. v. 48, n.2, p. 145-151, 1993.

SOCOL, V. T. e PAULINO, R. C. Riscos de contaminação de Agrossistemas em parasitos pelo uso de lodo de esgoto. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto Ambiental do uso de lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 245-258.

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**. 10 ed. Porto Alegre: SBCS Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SOPPER, W. E. **Municipal sludge use in land reclamation**. New York: Lewis, 1993.

TAMANINI, C. R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólido e gramínea forrageira**. 2004.196 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. *et al.* **Análise do solo plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p (UFRGS, Boletim Técnico, 5).

TOMÉ Jr, J. B. **Manual para interpretação de análise se solo**. 1ª ed. Guaíba: Agropecuária, 1997. 257p.

TOSCAN, L. e KAUTZMANN, R. M. **Diagnóstico da mineração de basalto e seu rejeito, no município de Nova Prata RS; 2 - estudo do rejeito**. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 5. Porto Alegre, 2006.

TRUTER, W.F. **A review on soil acidification, soil nutrient depletion and the need for soil amelioration using coal combustion byproducts and organic waste**. 2002.198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Agricultura, University of Pretoria, Pretoria, 2002.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: W. BETTIOL & O. A. CAMARGO (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, v.1, 2000. P. 69-105.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HES PANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds.) **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA. Environmental Protection Agency **Standards for the use or disposal of sewage sludge**: 40 CFR Parts 403 and 503. Washington, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Targeted National Sewage Sludge Survey**: Overview Report. Washington: Office of Water (4301T). EPA-822-R-08-014, 2009.

UPJOHN, B.; FENTON, G.; CONYERS, M. **Soil acidity and liming**. Camberra: NSW Department of Primary Industries, 2005. 24 f. Agfact AC.19, 3ed.

USSIRI, D. A. N. e LAL, R. **Carbon Sequestration in Reclaimed Minesoils**. Critical Reviews in Plant Sciences, v.24, p. 151-165, 2005.

VEIMEHYER, F. J. e HENDRICKSON, A. H. **Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils**. Soil Sci., 68:75-94, 1949.

WERNER, J. C., PAULINO, V. T., CANTARELLA, H., ANDRADE, N. O., QUAGGIO, J. A. **Forageiras** in: Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2ª ed. Campinas, Instituto agrônômico e fundação IAC. P. 263-276. 1996.

WICK, A. F.; DANIELS, W. L.; ORNDORFF, Z. W.; ALLEY, M. M. **Organic matter accumulation post-mineral sands mining**. Soil Use and Management, v. 29, n.3, 2013, p. 354-364.

WIETHOLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000a.

WIETHOLTER, S. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria, Brasil. Fertbio 2000: biodinâmica do solo. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais Departamento de Solos, UFSM, 2000b. CD-ROM.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A.; REIS, J. L. B. C. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1997. 96p.



## APÊNDICE A – Dados brutos do material vegetal

Tabela 12 - Valores individualizados para os 25 vasos, referentes à altura foliar e matéria seca

Identificação (vasos)	Blocos	Tratamentos	Altura	Matéria Seca Foliar	Matéria Seca Radicular	Matéria Seca Total
			(cm)	(g)	(g)	(g)
1	1	A	23	0,4450	0,7472	1,19
2	1	C	35	1,7771	0,9503	2,73
3	1	D	37	1,7113	1,0093	2,72
4	1	E	38	5,2050	3,5021	8,71
5	1	B	39	4,7985	4,5274	9,33
6	2	D	52	3,2710	1,5944	4,87
7	2	E	38	5,4220	5,2985	10,72
8	2	B	60	6,4710	5,8418	12,31
9	2	A	19	0,6625	1,2835	1,95
10	2	C	36	2,1642	1,4047	3,57
11	3	B	42	5,4290	3,7423	9,17
12	3	A	19	0,6998	0,6521	1,35
13	3	E	40	5,8661	6,1158	11,98
14	3	C	45	2,4106	1,3442	3,75
15	3	D	36	2,2365	1,3818	3,62
16	4	C	43	2,5363	1,1772	3,71
17	4	D	42	2,6875	1,2667	3,95
18	4	A	21	1,1068	1,6345	2,74
19	4	B	43	4,9398	3,0885	8,03
20	4	E	39	5,3695	3,3587	8,73
21	5	E	36	5,7355	4,2812	10,02
22	5	B	38	3,8352	2,9829	6,82
23	5	C	40	1,9570	1,0304	2,99
24	5	D	38	2,8411	1,6845	4,53
25	5	A	18	0,5896	0,7425	1,33

## APÊNDICE B – Análises estatísticas

Tanto para as análises dos dados relativos ao solo (tratamentos) e a planta (aveia preta), realizou-se a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### ✓ Análise do pH (H<sub>2</sub>O):

Tabela 13 - Comparação de médias (n=5) para o pH

Tratamentos	Valores médios	
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	5,28	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	5,66	b
D (solo de cobertura 3,2% MO)	6,08	c
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	6,30	c
A (rejeito 0,1% MO)	6,78	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

### ✓ Análise do Índice SMP:

Tabela 14 - Comparação de médias (n=5) para o índice SMP

Tratamentos	Valores médios	
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	6,32	a
D (solo de cobertura 3,2% MO)	6,54	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	6,58	bc
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	6,68	c
A (rejeito 0,1% MO)	7,08	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

### ✓ Análise do Fósforo:

Os tratamentos A, B e E apresentaram variância zero ( $P > 100 \text{ mg dm}^{-3}$ ), sendo que os tratamentos C ( $P = 68 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e D ( $P = 24,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) não diferem significativamente entre si.

✓ **Análise do Potássio:**

Não houve diferença significativa entre os tratamentos propostos, sendo A ( $K= 54,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ), B ( $K=44,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ), C ( $45,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ), D ( $46,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e E ( $43,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

✓ **Análise da Matéria Orgânica:**

O tratamento A (0,1%) apresentou variância zero.

Tabela 15 - Comparação de médias para a matéria orgânica - MO (%)

Tratamentos	Valores médios	
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	1,84	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	2,04	ab
D (solo de cobertura 3,2% MO)	2,56	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	2,68	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Alumínio trocável:**

Não ocorreu variância entre os tratamentos, sendo que somente o E ( $0,1 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) apresentou teores de Al trocável.

✓ **Análise do Cálcio trocável:**

Tabela 16 - Comparação de médias (n=5) para o cálcio trocável ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ )

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	9,00	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	12,86	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	18,38	c
A (rejeito 0,1% MO)	19,20	cd
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	19,48	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Magnésio trocável:**

Tabela 17 - Comparação de médias (n=5) para o magnésio trocável (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	2,82	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	5,04	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	6,90	c
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	7,18	c
A (rejeito 0,1% MO)	8,66	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Al+H (acidez potencial):**

Tabela 18 - Comparação de médias (n=5) para o Al+H (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	1,24	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	2,02	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	2,28	bc
D (solo de cobertura 3,2% MO)	2,38	c
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	3,04	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da CTC:**

Tabela 19 - Comparação de médias (n=5) para a CTC (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	14,28	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	20,02	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	27,96	c
A (rejeito 0,1% MO)	29,20	cd
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	29,56	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da CTC de bases (saturação por bases):**

Tabela 20 - Comparação de médias (n=5) para o CTC bases (%)

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	83,60	a
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	89,60	b
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	90,00	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	91,80	c
A (rejeito 0,1% MO)	95,80	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da CTC do alumínio:**

Não ocorreu variância entre os tratamentos, onde os tratamentos A, B, C, e D apresentaram valor igual a zero e o tratamento E (CTC Al = 0,38%).

✓ **Análise do Enxofre:**

Tabela 21 - Comparação de médias (n=5) para o enxofre (mg dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	6,32	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	14,6	a
D (solo de cobertura 3,2% MO)	20,2	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	120,4	a
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	660,6	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Zinco:**

Tabela 22 - Comparação de médias (n=5) para o zinco (mg dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	5,18	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	8,62	a
D (solo de cobertura 3,2% MO)	14,0	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	25,6	c
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	35,4	d

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Cobre:**

Tabela 23 - Comparação de médias (n=5) para o cobre (mg dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	1,08	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	1,10	a
A (rejeito 0,1% MO)	1,22	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	4,50	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	5,16	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Boro:**

O tratamento C apresentou variância zero (B= 0,1 mg dm<sup>-3</sup>).

Tabela 24 - Comparação de médias (n=5) para o boro (mg dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1 % MO)	0,08	a
D (solo de cobertura 3,2% MO)	0,18	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	0,26	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	0,36	c

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise do Manganês:**

Tabela 25 - Comparação de médias (n=5) para o manganês (mg dm<sup>-3</sup>)

Tratamentos	Valores médios	
D (solo de cobertura 3,2% MO)	3,80	a
A (rejeito 0,1% MO)	5,40	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	8,60	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	30,60	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	49,20	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da matéria seca foliar:**

Tabela 26 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca foliar (gramas)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	0,70	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	2,17	b
D (solo de cobertura 3,2% MO)	2,55	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	5,09	c
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	5,52	c

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da matéria seca radicular:**

Tabela 27 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca radicular (gramas)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	1,01	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	1,18	a
D (solo de cobertura 3,2% MO)	1,39	a
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	4,04	b
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	4,51	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da matéria seca total:**

Tabela 28 - Comparação de médias (n=5) para a matéria seca total (gramas)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	1,71	a
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	3,35	ab
D (solo de cobertura 3,2% MO)	3,94	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	9,13	c
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	10,03	c

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

✓ **Análise da altura total foliar:**

Tabela 29 - Comparação de médias (n=5) para a altura foliar (centímetros)

Tratamentos	Valores médios	
A (rejeito 0,1% MO)	20	a
E (rejeito+lodo 3,2% MO)	38,2	b
C (rejeito+solo de cobertura 1,8% MO)	39,8	b
D (solo de cobertura 3,2% MO)	41,0	b
B (rejeito+lodo 1,8% MO)	44,4	b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

## ANEXO A – Laudo da análise química do rejeito de mineração de basalto



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

**50 anos**  
Servindo à Agricultura



### Laudo de Análise de Solo

NOME: PROF<sup>a</sup>. REJANE TUBINO/MAYLA ARTICO  
MUNICÍPIO: PORTO ALEGRE  
ESTADO: RS  
LOCALIDADE:

DATA DO RECEBIMENTO: 18/05/17  
DATA DA EXPEDIÇÃO: 30/05/17

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>trac</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sub>trac</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg <sub>trac</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
1	184/31	13	6.5	7.1	>100	48	0.1	0.0	19.8	8.2

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<sup>-1</sup>; S-BO, extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; B extraído com água quente.

NUM	H + Al cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	% SAT da CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM p/PRNT (t ha <sup>-1</sup> )			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	85	70	55
1	1.2	29.4	96	0.0	2.4	161	67				

CTC a pH 7.0. Necessidade de calcário para atingir pH 6.0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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	13	1.9	15	0.1	18			

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	SOLO INERTE

  
**Clesio Gianello**  
Eng<sup>o</sup> Ag<sup>o</sup> CREA RS011476 0.000  
Chefe do Laboratório de Análises



## ANEXO B – Laudo da análise química do solo de cobertura



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

**50 anos**  
Servindo à Agricultura



## Laudo de Análise de Solo

NOME: PROFa. REJANE TUBINO/MAYLA ARTICO  
MUNICÍPIO: PORTO ALEGRE  
ESTADO: RS  
LOCALIDADE:

DATA DO RECEBIMENTO: 18/05/17  
DATA DA EXPEDIÇÃO: 30/05/17

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>TOC</sub> cmol/dm <sup>3</sup>	Ca <sub>TOC</sub> cmol/dm <sup>3</sup>	Mg <sub>TOC</sub> cmol/dm <sup>3</sup>
1	184/32	13	6.4	6.6	18	88	3.2	0.0	8.6	2.5

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P, K, Ca, 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<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; B extraído com água quente.

NUM	H + Al cmol/dm <sup>3</sup>	CTC cmol/dm <sup>3</sup>	% SAT da CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM p/PRNT (t ha <sup>-1</sup> )			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	85	70	55
1	2.2	13.5	84	0.0	3.4	38	11				

CTC a pH 7.0. Necessidade de calcário para atingir pH 6.0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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	26	7.2	2.7	0.2	2						

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	SOLO DE COBERTURA

  
Clesio Gianello  
Eng<sup>o</sup> Ag<sup>o</sup> CREA RS011476 0.000  
Chefe do Laboratório de Análises

## ANEXO C – Laudo da análise química do lodo de esgoto



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

## LAUDO DE ANÁLISES

**NOME:** REJANE TUBINO

**MUN.:** NOVO HAMBURGO

**Data de entrada:** 17/04/17

**EST.:** RS

**Data de expedição:** 31/05/17

**Nº DE REG.:** R-111/2017

**MATERIAL:** LODO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	60	gravimetria / -
pH	8,0	relação amostra/água 1:5/potenciometria
Densidade - kg/m <sup>3</sup>	1157	-
Carbono orgânico - % (m/m)	8,8	combustão úmida/Walkey Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	0,95	Kjeldahl / 0,01 %
Relação C/N	9	cálculo
Fósforo total - % (m/m)	0,29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,12	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	0,91	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)	0,62	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	69	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,6 mg/kg
Zinco total - mg/kg	461	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	1,7	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	175	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - mg/kg	666	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 10 mg/kg
Cádmio total - mg/kg	< 0,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Cromo total - mg/kg	31	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Cromo hexavalente - mg/kg	< 1	digestão básica/ EAM, difenilcarbazida/ 1 mg/kg
Cromo trivalente - mg/kg	31	cálculo
Níquel total - mg/kg	21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Chumbo total - mg/kg	21	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Arsênio total - mg/kg	14	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Selênio total - mg/kg	< 4	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Bário total - mg/kg	132	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Cobalto total - mg/kg	6	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Molibdênio total - mg/kg	0,7	digestão seca/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Boro total - mg/kg	15	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg
Mercúrio - mg/kg	0,20	digestão úmida EPA 7471 A/vapor frio / 0,01 mg/kg

Obs.1: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.2: Média de 2 determinações.

  
Eng. Agr. Clesio Gianello, Ph.D.  
CREA 8a. Reg. 25.642  
Responsável pelo Laboratório de Análises

## ANEXO D – Laudo da análise microbiológica do lodo de esgoto



### Laudo Analítico BQ-160760/17-Revisão 03

Este laudo substitui o Laudo Analítico BQ-160760/17 Revisão 02

**Cliente:** COMUSA - Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo  
**Endereço:** Av. Coronel Travassos, 287 - 93415-000 - Novo Hamburgo-RS

**Proposta Comercial/Plano de Amostragem:** BOP-13033-17

**Ident. da Amostra:** Lodo da ETE

**Local Amostragem:** ETE Morada dos Eucaliptos

**Tipo Amostra:** --

**Amostrado por:** NSF Bioensaios

**Data de Recebimento:** 27/03/2017 16h 00min

**Data da amostragem:** 27/03/2017 11h 10min

**Data do Laudo:** 05/06/2017

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Ovos viáveis de Helmintos	<0,25	ovo/g ST	EPA 625 R-92/013	-	---	---	05/06/2017
Virus entéricos (Enterovirus)(a)	<0,25	UFP/g ST	WHO (2003); Calgua (2008); Katayama (2002)	-	---	---	05/06/2017

#### ■ CONAMA 375 - Agente Patógeno

Coliformes termotolerantes (NMP)	490	NMP/g ST	Tubos múltiplos	1,8	---	---	05/06/2017
Coliformes totais (NMP)	>24196,0	NMP/g	Substrato enzimático	1	---	---	31/03/2017
Salmonella sp	Presença	10 g ST	EPA 625 R-92/013	---	---	---	05/06/2017

#### Legenda:

- AL: Prejudicado por Acidente Laboratorial
- AOAC: Association of Analytical Communities
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- EPA: US-Environmental Protection Agency
- IM: Incerteza da medição
- LOD: Limite de detecção
- LOQ: Limite de quantificação
- MAOQ-FURG: Manual de Análises em Oceanografia Química da FURG
- MFL: Milhões de Filamentos por Litro
- NBR: Norma Brasileira da ABNT
- ND: Não detectado
- OECD: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- POP: Procedimento Operacional Padrão
- SM: Standard Methods da APHA-AWWA-WEF
- V.O.: Valores Orientadores
- VMP: Valor Máximo Permitido

BQ-160760/17-Revisão 03 - 1

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Viamão - RS - Brasil  
 Fone: (51) 3493-6888 Fax: (51) 3493-6885 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org

Os resultados referem-se apenas a amostra ensaiada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações

## ANEXO D - continuidade



### **Laudo Analítico BQ-160760/17-Revisão 03**

Este laudo substitui o Laudo Analítico BQ-160760/17 Revisão 02  
(Continuação)

VR: Valor Recomendado

#### **Laboratórios subcontratados:**

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0692:

- (a) LABB - Laboratório Beckhauser e Barros Ltda EPP.  
Rua Pará, 50 - Itoupava Seca - Blumenau - SC - CEP 89030-300

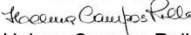
#### **Nota:**


A realização das análises dentro do prazo de validade de cada parâmetro é garantida desde que todo o trâmite analítico (amostragem e análise) tenha sido de responsabilidade da NSF Bioensaios. Desvios percebidos no ato do recebimento de amostras são informados aos interessados para deliberação a respeito da continuidade do processo analítico.

#### **Condições específicas de ensaios:**

Nenhum desvio de método ou condições adversas foram registradas durante os ensaios.

Liberado eletronicamente por:

  
Helena Campos Rolla  
Bióloga  
CRBio nº 08124-03

  
Laís Donini Abujamara  
Bióloga  
CRBio 88333/03-D

  
Gisele de Azevedo Kimieciki  
Química  
CRQ-05101065-5ª Região

BQ-160760/17-Revisão 03 - 2 Última página

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Viamão - RS - Brasil  
Fone: (55 51) 3493-6888 Fax: (55 51) 3493-6885 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org

Os resultados referem-se apenas a amostra ensaiada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.

## ANEXO E – Análise química do tecido vegetal

Tabela 30 - Valores da análise do tecido radicular dos 5 tratamentos propostos

Protocolo	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	mg/kg	mg/kg	(%) m/m	mg/kg	mg/kg
A-Raízes	0,48	0,12	0,41	0,94	0,42	0,09	43	148	2,1	660	10
B-Raízes	1,0	0,28	0,19	0,81	0,34	0,32	67	221	1,9	460	8
B-Raízes	1,2	0,30	0,24	0,92	0,37	0,31	72	267	2,2	736	4
B-Raízes	0,99	0,18	0,26	0,83	0,33	0,27	52	310	1,7	582	6
C-Raízes	0,72	0,13	0,42	0,74	0,29	0,13	33	131	1,5	308	12
D-Raízes	0,98	0,11	0,39	0,36	0,13	0,16	20	136	0,55	126	14
E-Raízes	1,5	0,40	0,14	0,92	0,28	0,39	78	299	2,2	585	5
E-Raízes	1,4	0,39	0,13	0,86	0,28	0,38	83	325	2,4	508	7
E-Raízes	1,4	0,28	0,16	0,60	0,25	0,36	58	282	1,4	581	10

\*Os valores dos tratamentos A, C e D correspondem à mistura dos materiais dos 5 blocos (repetições) e dos tratamentos B e E se refere aos valores dos 3 blocos (repetições)

Tabela 31 - Valores da análise do tecido foliar dos 5 tratamentos propostos

Protocolo	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	(%) m/m	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-Folhas	0,89	0,23	1,7	0,37	0,19	0,13	5	29	321	180	12
B-Folhas	1,9	0,27	1,0	0,40	0,23	0,45	8	75	319	286	7
B-Folhas	1,1	0,24	0,96	0,39	0,23	0,37	6	60	86	360	5
B-Folhas	1,2	0,25	0,94	0,48	0,25	0,41	7	62	105	417	7
C-Folhas	0,96	0,22	1,5	0,25	0,16	0,14	4	38	890	80	8
D-Folhas	0,70	0,21	1,5	0,23	0,13	0,14	4	80	0,56%	73	11
E-Folhas	2,7	0,36	1,0	0,57	0,35	0,71	10	123	297	326	11
E-Folhas	2,3	0,36	1,1	0,51	0,33	0,86	10	123	118	360	9
E-Folhas	2,5	0,31	0,82	0,48	0,27	0,78	9	127	82	335	11

\*Os valores dos tratamentos A, C e D correspondem à mistura dos materiais dos 5 blocos (repetições) e dos tratamentos B e E se refere aos valores dos 3 blocos (repetições)



## ANEXO F – Laudo da análise química dos tratamentos



FACULDADE DE AGRONOMIA – DEPTO. SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos  
Servindo à Agricultura

## Laudo de Análise de Solo

NOME: PROFª REJANE/ MAILA  
MUNICÍPIO:  
ESTADO: RS

DATA DO RECEBIMENTO: 21/11/2017  
DATA DA EXPEDIÇÃO:  
LOCALIDADE:

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 troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
1	17621/3	13	6.6	7.0	>100	65	0.1	0.0	19.5	8.6
2	17621/4	14	6.5	6.6	64	45	1.6	0.0	12.8	5.0
3	17621/5	14	6.1	6.4	22	56	2.8	0.0	9.6	3.0
4	17621/6	14	5.3	6.3	>100	54	2.8	0.1	21.1	7.5
5	17621/7	14	5.5	6.4	>100	46	2.3	0.0	17.9	7.0

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1	1.4	29.6	95	0	2.3	117	52
2	2.2	20.1	89	0	2.6	111	43
3	2.8	15.5	82	0	3.2	67	21
4	3.1	31.9	90	0.3	2.8	152	54
5	2.8	27.8	90	0	2.6	152	59

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+H. 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	3.8	3.8	1.0	0.0	7	-	-	-
2	10	7.3	1.0	0.1	14	-	-	-
3	17	14	1.0	0.2	4	-	-	-
4	1068	39	6.0	0.4	54	-	-	-
5	141	29	5.2	0.3	30	-	-	-

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	01
2	02
3	03
4	04
5	05

Clesio Gianello

Engº Agrº CREA 8º Reg 25.642  
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



FACULDADE DE AGRONOMIA – DEPTO. SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos  
Servindo à Agricultura

## Laudo de Análise de Solo

NOME: PROFª REJANE/ MAILA  
MUNICÍPIO:  
ESTADO: RS

DATA DO RECEBIMENTO: 21/11/2017  
DATA DA EXPEDIÇÃO:  
LOCALIDADE:

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 troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
-----	----------	----------	---------------------	------------	----------------------	----------------------	--------	---	---	---

## ANEXO F - continuidade

6	17621/8	16	6.0	6.6	29	48	2.6	0.0	9.1	2.8
7	17621/9	16	5.3	6.3	>100	42	2.8	0.1	19.9	6.9
8	17621/10	20	5.6	6.6	>100	44	2.1	0.0	18.5	7.2
9	17621/11	17	6.8	7.1	>100	44	0.1	0.0	19.7	9.0
10	17621/12	15	6.4	6.8	85	42	1.6	0.0	13.3	5.4

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6	2.2	14.2	85	0	3.3	74	23
7	3.1	30.0	90	0.4	2.9	185	64
8	2.2	28.0	92	0	2.6	164	64
9	1.2	30.0	96	0	2.2	175	80
10	1.7	20.5	92	0	2.5	124	50

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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
6	18	14	1.4	0.2	4	-	-	-
7	735	32	4.5	0.4	50	-	-	-
8	185	26	4.7	0.3	29	-	-	-
9	6.6	4.8	1.3	0.1	6	-	-	-
10	13	8.1	0.9	0.1	6	-	-	-

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
6	06
7	07
8	08
9	09
10	10

**Clesio Gianello**

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> CREA 8<sup>o</sup> Reg **25.642**  
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



**FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. SOLOS**  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**40 anos**  
Serviço à Agricultura

## Laudo de Análise de Solo

**NOME:** PROF<sup>a</sup> REJANE/ MAILA

**DATA DO RECEBIMENTO:** 21/11/2017

**MUNICÍPIO:**

**DATA DA EXPEDIÇÃO:**

**ESTADO:** RS

**LOCALIDADE:**

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 troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
11	17621/13	13	5.8	6.6	>100	45	2.1	0.0	18.3	7.0
12	17621/14	16	6.9	7.1	>100	73	0.1	0.0	19.4	8.8
13	17621/15	14	5.3	6.3	>100	43	2.8	0.1	18.7	6.4
14	17621/16	14	6.2	6.7	74	52	1.9	0.0	13.3	5.3
15	17621/17	18	6.0	6.5	22	45	2.9	0.0	8.8	2.7

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
11	2.2	27.7	92	0	2.6	159	61
12	1.2	29.5	96	0	2.2	104	47
13	3.1	28.4	89	0.4	2.9	170	58
14	2	20.7	90	0	2.5	100	40
15	2.5	14.1	82	0	3.3	76	23

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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
11	75	25	4.4	0.2	47	-	-	-

## ANEXO F - continuidade

12	12	5.6	1.6	0.1	6	-	-	-
13	451	34	4.9	0.3	62	-	-	-
14	17	10	1.5	0.1	9	-	-	-
15	25	16	1.0	0.2	4	-	-	-

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15

**Clesio Gianello**

Engº Agrº CREA 8º Reg **25.642**  
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



**FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. SOLOS**  
**LABORATÓRIO DE ANÁLISES**

**40 anos**  
Servindo à Agricultura

### Laudo de Análise de Solo

**NOME:** PROFª REJANE/ MAILA

**DATA DO RECEBIMENTO:** 21/11/2017

**MUNICÍPIO:**

**DATA DA EXPEDIÇÃO:**

**ESTADO:** RS

**LOCALIDADE:**

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 troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
16	17621/18	17	6.1	6.7	57	46	1.8	0.0	12.2	4.7
17	17621/19	17	6.1	6.6	23	46	2.4	0.0	8.8	2.8
18	17621/20	18	6.6	7.1	>100	45	0.1	0.0	18.9	8.5
19	17621/21	17	5.8	6.6	>100	42	1.5	0.0	18.4	7.4
20	17621/22	12	5.2	6.3	>100	43	3.0	0.1	19.2	7.0

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
16	2	19.0	90	0	2.6	103	40
17	2.2	13.9	84	0	3.1	75	24
18	1.2	28.7	96	0	2.2	164	74
19	2.2	28.1	92	0	2.5	171	69
20	3.1	29.4	89	0.4	2.7	174	63

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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
16	14	8.3	1.0	0.1	7	-	-	-
17	21	13	1.0	0.1	4	-	-	-
18	3.5	6.2	1.1	0.1	4	-	-	-
19	70	23	3.8	0.2	21	-	-	-
20	611	39	6.0	0.4	41	-	-	-

**Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação**

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20

**Clesio Gianello**

Engº Agrº CREA 8º Reg **25.642**  
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



## ANEXO F - continuidade



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos  
Servindo à Agricultura

## Laudo de Análise de Solo

NOME: PROFª REJANE/ MAILA

DATA DO RECEBIMENTO: 21/11/2017

MUNICÍPIO:

DATA DA EXPEDIÇÃO:

ESTADO: RS

LOCALIDADE:

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 troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
21	17621/23	12	5.3	6.4	>100	37	2.0	0.1	18.5	6.7
22	17621/24	12	5.6	6.7	>100	46	2.2	0.0	18.8	7.3
23	17621/25	13	6.3	6.6	60	41	2.3	0.0	12.7	4.8
24	17621/26	13	6.2	6.6	28	36	2.1	0.0	8.7	2.8
25	17621/27	12	7.0	7.1	>100	47	0.1	0.0	18.5	8.4

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KC1 1 mol L<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub> extraído com CaHPO<sub>4</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
21	2.8	28.1	90	0.4	2.8	195	71
22	2	28.2	93	0	2.6	159	62
23	2.2	19.8	89	0	2.6	121	46
24	2.2	13.7	85	0	3.1	94	30
25	1.2	28.2	96	0	2.2	154	70

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. 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
21	438	33	4.4	0.3	39	-	-	-
22	131	25	4.4	0.3	26	-	-	-
23	19	9.4	1.1	0.1	7	-	-	-
24	20	13	1.0	0.2	3	-	-	-
25	5.7	5.5	1.1	0.1	4	-	-	-

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25

Clesio Gianello

Engº Agrº CREA 8º Reg 25.642  
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br