



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA



KARINE BATISTA DOS SANTOS

## **INTEGRAÇÃO DE LODO DE ETE A RESÍDUO DE MINERAÇÃO DE BASALTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Porto Alegre - RS  
2017

KARINE BATISTA DOS SANTOS

**INTEGRAÇÃO DE LODO DE ETE A RESÍDUO DE MINERAÇÃO DE  
BASALTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
APRESENTADO AO CURSO DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Orientadora: Rejane Maria Candiota Tubino  
Co-orientadora: Beatriz Alicia Firpo Vasquez

Porto Alegre – RS  
2017

KARINE BATISTA DOS SANTOS

INTEGRAÇÃO DE LODO DE ETE A RESÍDUO DE MINERAÇÃO DE BASALTO  
PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 18/12/2017 pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rejane Maria Candiota Tubino  
DEMET

---

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider  
DEMIN

---

Prof. Dr. Darci Barnech Campani  
DEMEC

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela saúde, proteção e força ao longo desta jornada.

Agradeço à minha família. Em primeiro lugar, à minha mãe Gilvânia (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente fisicamente neste momento tão feliz da minha vida, mas estou certa que sempre esteve ao meu lado guiando meus passos. Agradeço aos meus tios, Eronildes e Núbia, por me ajudarem a tornar esse sonho possível, e sempre permanecerem ao meu lado me incentivando. E às minhas irmãs, Elayne, Kássia, Luci e Vanessa, por todo apoio e companheirismo.

Agradeço ao Jonas, por suportar comigo os momentos de estresse e nervosismo, sem nunca me deixar desistir.

Agradeço à minha orientadora, Rejane, pela acessibilidade e paciência com as quais me instruiu. À minha co-orientadora Beatriz, pela generosidade e por ter sempre compartilhado seus conhecimentos comigo, tornando esse trabalho possível. E à Maila, pela parceria na realização deste trabalho e pela atenção e gentileza que me ofereceu sempre que lhe pedi ajuda.

Agradeço também aos membros do Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTM) que disponibilizaram o espaço para a realização de algumas etapas deste trabalho e foram sempre acessíveis em ajudar sempre que necessário.

Agradeço a todas as pessoas especiais que cruzaram o meu caminho e aos amigos e amigas que tornam meus dias mais alegres e torceram por mim durante essa etapa. Em especial a Bruna, que esteve presente desde o primeiro momento e se tornou uma amiga que vou levar pra vida, a Jéssica, por todo apoio e companheirismo de sempre, ao Lucas, pela parceria ao fazer tudo parecer mais fácil e divertido e a Marina, que sempre esteve disposta a ajudar e me ensinou que sempre podemos ser pessoas melhores.

Por fim, agradeço à UFRGS e a todos os professores, por oportunizar a minha graduação em Engenharia Ambiental, pela infraestrutura e recursos disponibilizados.

## RESUMO

Diversas técnicas têm sido utilizadas com o objetivo de recuperar solos degradados, e uma parte expressiva destas requerem a adição de matéria orgânica como potencializador das propriedades do solo. Dentre as fontes de matéria orgânica que podem ser utilizadas, está o lodo de esgoto, que apresenta altos teores de nutrientes, facilita a penetração das raízes e aumenta a resistência do solo à erosão, portanto, tem elevado potencial de uso em áreas degradadas. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de resíduos urbanos e de mineração na recuperação ambiental de áreas degradadas, a fim de reduzir os impactos decorrentes da disposição dos resíduos da mineração, analisando a possibilidade de substituir o solo de cobertura por lodo de Estação de Tratamento de Esgoto como fonte de matéria orgânica devido a sua escassa disponibilidade. O método consistiu na coleta e análise de resíduo de área de mineração e solo de cobertura coletados em uma pedreira do município de Novo Hamburgo/RS, lodo de esgoto coletado na Companhia Municipal de Saneamento (COMUSA), na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na cidade de Novo Hamburgo/RS, e para a cobertura vegetal foi utilizada semente de Aveia Preta. Os materiais foram submetidos à análise química de macro e micronutrientes, pH, sólidos voláteis, umidade, relação C/N e metais pesados, análise granulométrica a fim de conhecer as propriedades químicas e físicas dos materiais e medição de massa foliar seca com o objetivo de conhecer a fertilidade dos tratamentos. Após as análises, pôde-se observar que utilizar o lodo de esgoto em mistura com resíduos de mineração na recuperação de áreas degradadas, auxiliando na mitigação e/ou redução dos impactos ambientais de atividades de mineração é uma alternativa à disposição dos mesmos em aterros.

Palavras chave: Áreas degradadas, Recuperação, Mineração, Lodo de esgoto, Resíduos.

## ABSTRACT

Several techniques have been used with the objective of recovering degraded soils, and these require the addition of organic matter as a potentiator of soil properties. Among the sources of organic matter that can be used is sewage sludge, which presents high levels of nutrients, facilitates the penetration of the roots and increases soil resistance to erosion, and therefore has a high potential for use in degraded areas. The aim of this work is to evaluate the use of urban and mining waste in the environmental recovery of degraded areas, in order to reduce the impacts of the disposal of the mining waste, analyzing the possibility of replacing the soil with cover sludge of wastewater treatment as a source of organic matter due to its scarce availability. The method consisted of the collection and analysis of waste from mining area and cover soil collected at a quarry in the municipality of Novo Hamburgo / RS, sewage sludge collected at Companhia Municipal de Saneamento (COMUSA), in the city of Novo Hamburgo / RS, and for the vegetal cover will be used Black Oat seed. The materials were submitted to macro and micronutrients chemical analysis, pH, volatile solids, humidity, C / N ratio and heavy metals, granulometric analysis in order to know the physical properties of the materials and measurement of dry foliar mass in order to know the fertility of the treatments. After the analysis, it could be observed that using sewage sludge mixed with mining waste in the recovery of degraded areas, helping to mitigate and / or reduce the environmental impacts of mining activities is an alternative to disposal in landfills.

Keywords: Degraded areas, Recovery, Mining, Sewage sludge, Waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do lodo de esgoto .....	23
Figura 2 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação .....	24
Figura 3 - Coleta de Resíduo de Mineração .....	27
Figura 4 - Coleta do solo de cobertura.....	28
Figura 5 -Leito de secagem e coleta de lodo .....	29
Figura 6 - Semente de Aveia Preta.....	29
Figura 7 - Área amostral do Resíduo de mineração e Solo de cobertura .....	30
Figura 8- Local da coleta do Lodo (COMUSA) .....	31
Figura 9 - Vista externa da área experimental (planta piloto) .....	32
Figura 10 - (a) material sendo homogeneizado (b) Material sendo quarteado (c) e (d) Amostras para análise. ....	33
Figura 11 - (a) Disposição do material para secagem ao ar livre (b) Secagem do material em estufa a 60°C (c) Pesagem do material seco.....	34
Figura 12 - Delineamento e disposição dos vasos .....	35
Figura 13 - Aveia Preta sendo semeada.....	36
Figura 14 - Vasos após o primeiro desbaste .....	36
Figura 15 - (a) Frações granulométricas molhadas (b) Fração de areia grossa seca (c) Fração de Argila+Silte seca (d) Fração de Argila seca.....	37
Figura 16 - Diagrama triangular simplificado (utilizado pela Embrapa).....	38
Figura 17 - Diagrama utilizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos .....	39
Figura 18 - Crescimento da Aveia Preta nos diferentes tratamentos (a) A, (b) B, (c) C, (d) D, (e) E. ....	46
Figura 19 – Raízes secas .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros analisados para o resíduo de mineração .....	40
Tabela 2 - Parâmetros analisados para o Solo de cobertura.....	41
Tabela 3 - Comparação dos parâmetros analisados para o lodo com as concentrações máximas permitidas CONAMA 375.....	42
Tabela 4 - Comparação dos parâmetros analisados para o lodo amostrado com as concentrações máximas permitidas CONAMA 420 .....	43
Tabela 5 - Comparação dos parâmetros Cu e Zn para dos tratamentos B e E com as concentrações máximas permitidas CONAMA 420.....	43
Tabela 6 - Distribuição Granulométrica do Resíduo de Mineração.....	44
Tabela 7 - Distribuição Granulométrica do Solo de Cobertura.....	44
Tabela 8 - Distribuição Granulométrica do Lodo de esgoto .....	45
Tabela 9- Valores médios de matéria seca (g) parte aérea e radicular para os cinco tratamentos .....	46

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Comusa	-	Companhia Municipal de Saneamento
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	-	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EIA	-	Estudo de Impacto Ambiental
ETE	-	Estação de Tratamento de Esgoto
Funasa	-	Fundação Nacional de saúde
IBAMA	-	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
M <sub>AG</sub>	-	Massa de areia grossa
M <sub>AF</sub>	-	Massa de areia fina
M <sub>AR</sub>	-	Massa de argila
M <sub>Branco</sub>	-	Massa do tratamento apenas com dispersante
MO	-	Matéria Orgânica
NBR	-	Norma Brasileira
PNMA	-	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	-	Plano de Recuperação de Área Degradada
RIMA	-	Relatório de Impacto Ambiental

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	3
<b>RESUMO</b>	4
<b>ABSTRACT</b>	5
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	6
<b>LISTA DE TABELAS</b>	7
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2. OBJETIVOS</b>	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
3.1 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	15
3.2 ÁREAS DEGRADADAS	17
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A ATIVIDADES DE MINERAÇÃO	18
3.4 RECUPERAÇÃO, REABILITAÇÃO E RESTAURAÇÃO	19
3.5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS DEGRADADAS	20
3.6 LODO DE ESGOTO	22
3.6.1 CARACTERÍSTICAS DO LODO	22
3.6.2 PANORAMA DA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	23
3.6.3 UTILIZAÇÃO DE LODO COMO MATÉRIA ORGÂNICA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	25
3.7 RESÍDUO DE MINERAÇÃO	26
3.8 COBERTURA VEGETAL	26
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	27
4.1. MATERIAIS	27
4.1.1 Resíduos de mineração	27

	10
4.1.2 Solo de cobertura	28
4.1.3 Lodo de esgoto	28
4.1.4 Cobertura vegetal	29
4.2 MÉTODOS	30
4.2.1 ÁREA AMOSTRAL	30
4.2.2 ÁREA EXPERIMENTAL	31
4.2.3 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	32
4.2.4 ANÁLISE QUÍMICA	33
4.2.5 SECAGEM	34
4.2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
4.2.7 REVEGETAÇÃO	35
4.2.8 IRRIGAÇÃO	37
4.2.9 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	37
4.2.10 ACOMPANHAMENTO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	40
5.1 ANÁLISE QUÍMICA	40
5.1.1 Resíduo de mineração	40
5.1.2 Solo de cobertura	41
5.1.3 Lodo de esgoto	41
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	43
5.2.1 Resíduo de mineração	44
5.2.2 Solo de Cobertura	44
5.2.3 Lodo de esgoto	45
5.3 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS	45
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	48
<b>REFERÊNCIAS</b>	49
<b>ANEXOS – Laudo das análises químicas dos materiais</b>	58

ANEXO A – Laudo da análise do solo de cobertura	59
ANEXO B - Laudo da análise do resíduo de mineração	60
ANEXO A – Laudo da análise do Lodo de ETE	61

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, as atividades antrópicas vêm degradando os ecossistemas, causando inúmeros problemas ambientais. Para diminuir os impactos negativos causados, a recuperação das áreas degradadas tem se tornado cada vez mais necessária (KAGEYAMA, GANDARA & OLIVEIRA, 2003).

A atividade de mineração causa uma associação de alterações ambientais, alterações no uso e cobertura do solo, e é uma grande fonte de degradação de áreas (BITAR,1997). É caracterizada pela retirada da vegetação, intensa movimentação das camadas superficiais do solo e geração de rejeitos e outros substratos de difícil povoamento por plantas, demandando que um plano de recuperação seja desenvolvido, e as medidas mitigadoras devem possibilitar ao sítio degradado tornar-se apto ao uso, estando em equilíbrio com o meio (KOPEZINSKI, 2000).

A recuperação de áreas degradadas é multidisciplinar, integra diferentes campos de conhecimento e é um procedimento lento, além de estar relacionado à capacidade de restabelecimento do solo, principalmente em relação às suas propriedades físicas. Para melhorar as características físicas de solos degradados, a aplicação de materiais com alta carga de matéria orgânica (MO) é extremamente importante, pois altera sua densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração de água (MELO & MARQUES, 2000; BARBOSA et al., 2002).

Segundo Oliveira Filho *et al* (1987), a matéria orgânica é a principal responsável pela estruturação física de um solo, além de melhorar a circulação de água e ar. Várias fontes de matéria orgânica também têm sido utilizadas, a fim de favorecer a formação de agregados, facilitar a penetração das raízes e a vida microbiana, aumentar a resistência do solo à erosão e fornecer nutrientes para as plantas, propiciando maior rendimento de matéria verde e seca (Tsutiya, 2001).

Dentre as opções de fontes alternativas de matéria orgânica, o lodo de esgoto tem se destacado como um importante insumo na recomposição de solos degradados, pois traz inúmeros benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, agindo como um condicionador que facilita a formação de agregados e melhora a infiltração, a retenção de água e a aeração do solo, Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições à implantação e

desenvolvimento da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição de lodo apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação (Tsutiya, 2001).

Rocha (1998) afirma que a utilização do lodo de esgoto como adubo orgânico é um bom meio para dispor este resíduo, já que a disposição de lodo oriundo de Estações de Tratamento de Esgoto é um dos problemas ambientais urbanos que mais vem ganhando relevância na atualidade e que cresce diariamente tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento. A destinação final desse resíduo tem gerado grandes preocupações relacionadas à transmissão de doenças devido à presença de patógenos e, eventualmente, de metais pesados e poluentes orgânicos. Além disso, as despesas envolvidas nesta disposição podem alcançar até 60% dos custos operacionais de uma estação de tratamento de esgoto (ANDREOLI; LARA; FERNANDES, 1999).

Vários estudos confirmam a eficácia do lodo em tratamentos de recuperação, melhorando as características físicas, principalmente de solos de textura média e argilosa, destacando que o seu uso melhora o estado de agregação das partículas do solo (FILIZOLA et al., 2006), e é capaz de aumentar a macroporosidade das camadas do solo (MELO et al., 2004).

Através deste estudo, buscou-se identificar se os tratamentos aplicados poderão auxiliar na recuperação de áreas degradadas, principalmente nas áreas onde houve extração mineral. Os resultados poderão sugerir um destino adequado para este tipo de resíduo urbano, bem como para os da mineração.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral foi avaliar a utilização de resíduos sólidos do sistema de saneamento, oriundos de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como fonte de matéria orgânica na recuperação ambiental de áreas degradadas, aliado ao uso de resíduos de mineração.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar e caracterizar fontes de matéria orgânica e nutrientes (Lodo de ETE e solo de cobertura);
- Caracterizar e propor tratamentos para identificar a possibilidade de substituir o uso de solo de cobertura por lodo de ETE;
- Monitorar os parâmetros químicos (pH, macro e micronutrientes) e ambientais (metais disponíveis) nos tratamentos propostos;
- Acompanhar o crescimento vegetal nos diferentes tratamentos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados a legislação aplicável a áreas degradadas e atividades de mineração e uma conceitualização sobre recuperação de áreas degradadas e os materiais utilizados no estudo.

#### 3.1 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi definida pela Lei 6.938/1981 no Brasil. Esta Política aborda a preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida, exigindo que empreendimentos de mineração que causem degradação perturbem o ambiente de maneira controlada desde o início da operação até o encerramento, além de necessitar da elaboração de um Diagnóstico Ambiental do local a receber o empreendimento dispendo a respeito das características do local.

O licenciamento ambiental é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e é por meio dele que é exercido o controle sobre as atividades antrópicas que podem vir a degradar o ambiente, regulando as práticas que afetam as condições ambientais (FIRJAN, 2004). A exigência de licenciamento tem amparo na Constituição Federal e está regulada pela legislação ordinária.

A Resolução CONAMA 001 (BRASIL, 1986) apresenta o conceito de Impacto Ambiental e dispõe critérios básicos e diretrizes gerais para a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), onde são realizados diagnósticos e planejadas ações de minimização de impactos e mitigação de prováveis danos ambientais.

O decreto Lei 97632 (BRASIL, 1989) estabelece que os empreendimentos que explorem recursos minerais deverão elaborar um plano de recuperação de área degradada (PRAD), obrigando a recuperação da área degradada como parte do Relatório de Impacto Ambiental. Definindo que o PRAD tem como objetivo apresentar um plano de retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, tendo em vista a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

O dever de recuperar o meio ambiente degradado por atividades de mineração foi incorporado pelo art. 225, § 2º, da Constituição Federal e pelo art. 19 da Lei nº 7.805/89. O artigo 225, parágrafo 2º, da Constituição Federal estabelece

àquele que explorar recursos minerais a responsabilidade de recuperar os danos ambientais causados pela atividade de mineração, consistente na obrigação de recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com as soluções técnicas exigidas pelo órgão ambiental competente.

A Lei Federal n. 9.605(BRASIL, 1998), dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, obrigando o infrator a recompor o ambiente degradado. É a chamada lei dos crimes ambientais, que permite abertura de uma ação e processo penal contra crimes ambientais.

Assim, 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 têm vida útil predefinida. Este planejamento se traduz através de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e está previsto como parte integrante de estudos ambientais pertencentes ao processo de licenciamento ambiental, conforme inciso III do artigo 1º da Resolução CONAMA nº 237 (BRASIL, 1997) disciplina o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Com respeito ao lodo, a resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006), define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal. Mais especificamente, esta resolução define os procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, para que possam ser utilizados na agricultura.

### 3.2 ÁREAS DEGRADADAS

Conforme o Decreto Federal 97.632/1989, degradação pode ser definida como o resultado de impactos no meio ambiente, pelo qual este perdeu ou reduz suas propriedades, causando uma alteração adversa nas suas características físicas, químicas e biológicas, inviabilizando seu uso socioeconômico. Deixando claro que a degradação é identificada como impacto ambiental negativo (SÁNCHEZ, 2008).

Noffs et al. (2011) conceitua 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. Para Majer (1989) área degradada é aquela que sofre perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica.

De acordo com o IBAMA, o surgimento de uma área degradada acontece quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, o regime hídrico alterado em qualidade ou em regime de vazão. Desta forma, a degradação ambiental ocorre quando há perdas das características físicas, químicas e biológicas, levando a condições indesejáveis para o crescimento de plantas (DIAS & GRIFFITH, 1998).

De acordo com a ABNT NBR 10703, a degradação do solo é a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais”, sugerindo a aproximação com o conceito de efeito ou impacto ambiental considerado negativo. Todavia, em outra norma, a NBR 13030, define-se áreas degradadas como “áreas com diversos graus de alterações dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração”, mantendo a noção de alteração, porém sem vinculação com o uso do solo. Já o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA, define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico”.

### 3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A ATIVIDADES DE MINERAÇÃO

Os impactos ambientais relacionados às operações de mineração são diversos e ocorrem desde as etapas de pesquisa mineral, passando pelas etapas de instalação do empreendimento, exploração mineral, beneficiamento e, inclusive, no encerramento das atividades quando se dá a desativação da mina, (IBAMA, 1990).

As jazidas minerais têm sua formação ditada 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 podem dificultar ou até inviabilizam o aproveitamento econômico de um depósito mineral (FONTES, 2016).

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, na disposição de material estéril (inerte ou não aproveitável) proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento, (IBRAM, 2016). Na geração de resíduos da mineração, destaca-se a existência dos resíduos sólidos de extração e do tratamento/beneficiamento.

Nas atividades de mineração estes processos causam a diminuição da biodiversidade, fragmentação de ecossistemas, transformações nas paisagens além de causar alterações nas relações interespecíficas e aumento das áreas degradadas (REIS et al., 2006).

Assim como toda exploração de recurso natural, a atividade de mineração provoca impactos no meio ambiente seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos. Segundo CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos.

Analisando e comparando as informações apresentadas por Bitar (1997) e Almeida (2002) dentre os impactos ambientais gerados por atividades de mineração, vale destacar:

- Impacto sobre o solo com o desmatamento e a remoção dos seus horizontes superiores modificando o relevo, levando à sua exposição às intempéries e consequente erosão;

- Impacto sobre as águas com o assoreamento e poluição dos corpos d'água de entorno e daqueles no próprio empreendimento, sendo o aumento dos valores de turbidez o maior efeito impactante sobre a biota dos rios;
- Impactos sobre os ecossistemas com a perda de biodiversidade de fauna e flora e a fragmentação dos habitats;
- Geração de resíduos sólidos com a separação do fino durante o processo de mineração e sua disposição nas lagoas de decantação.

### 3.4 RECUPERAÇÃO, REABILITAÇÃO E RESTAURAÇÃO

Segundo o Decreto Federal 97.632 (BRASIL, 1989), o objetivo da recuperação é o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

A Lei n.º 9.985 (BRASIL, 2000), em seu artigo 2º define a recuperação como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente da sua original. Griffith (1986) define recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local. Implicando assim, que após a recuperação, será obtida uma condição estável em conformidade com os valores ambientais, estáticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem, obtendo uma condição estável e sustentável a médio e longo prazo (FIRPO, 2010). Assim, a recuperação pode ser entendida como as ações necessárias para estabelecer uma reversão de uma condição degradada para uma condição não degradada (MAJER, 1989).

Firpo (2010) conceitua reabilitação como o retorno da área degradada a um estado biológico estável, não necessariamente coincidindo com a condição original da mesma, sendo esta área posteriormente utilizada com a implantação de uma atividade que visa a recreação e/ou a valorização ecológica, mesmo que esta atividade não produza lucros monetários a longo prazo (MAJER, 1989). Ou seja, reabilitação está relacionada ao uso e ocupação do solo, isto é, reutilizar o local

como área de lazer, residencial, comercial, entre outras utilidades (KOPENZINSKI 2000).

Já a restauração está relacionada com o restabelecimento dos processos ambientais naturais, possibilitando que o uso e cobertura do solo retornem ao mais próximo possível da sua condição antes de qualquer interferência antrópica, após eliminar a degradação. É normalmente aplicada a ecossistemas raros e ameaçados (FIRPO, 2010).

### 3.5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS DEGRADADAS

A recuperação de áreas degradadas envolve um planejamento prévio de suas atividades, abordando a definição dos objetivos, estratégias, métodos, escolha das medidas a serem implementadas e uso futuro da área, inclusos num plano de recuperação (WILLIANS et al., 1990).

Uma das principais vantagens na abordagem da recuperação das áreas degradadas por mineração desde o planejamento é que os impactos ambientais causados pela atividade, assim como seus custos referentes à recuperação são diminuídos consideravelmente, a medida que é previsto uma correta estocagem, conservação e recolocação da camada fértil do solo no local alterado (IBAMA, 1990). 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 (BIAN, 2010). A maioria dos órgãos ambientais exige a adoção destas práticas que são indicadas nos termos de referência para elaboração e execução de Projetos de Áreas degradadas (Correa, 2005).

Bian (2010) divide a recuperação das áreas que sofreram degradação em três etapas, que incluem reconformação topográfica, estabelecimento de uma camada solo e replantio. Na recomposição topográfica, é importante levar em consideração a implantação de um sistema de drenagem no entorno da atividade, a fim de evitar que a água pluvial cause a ruptura dos taludes e, principalmente o desenvolvimento de focos de erosão.

Em atividades de mineração, por exemplo, normalmente a superfície é suprimida de vegetação e as camadas de solo e rochas são removidas, causando extremas alterações no perfil do solo original (USSIRI & LAL, 2005). Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição de uma fonte de matéria orgânica apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação (TSUTIYA, 2001). Segundo Oliveira Filho et al (1987), a matéria orgânica é a principal responsável pela estruturação física de um solo, além de melhorar sua circulação de água e ar.

A matéria orgânica do solo é um dos principais agentes de formação e estabilização do solo, e a diminuição de seu conteúdo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo. De forma recíproca, alterações no uso e a adoção de práticas de manejo que promovam a quebra de agregados, expõem a MOS à ação microbiana resultando em diminuição do Carbono orgânico do solo (MATOS *et al.*, 2008).

Dentre as opções de fontes alternativas de matéria orgânica, o lodo de esgoto tem se destacado como um importante insumo na recomposição de solos degradados, pois traz inúmeros benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, agindo como um potencializador que facilita a formação de agregados e melhora a infiltração, a retenção de água e a aeração do solo. Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes no solo e da atividade biológica. O aproveitamento de resíduos urbanos e sua utilização na recuperação de áreas degradadas têm sido abordados por vários autores, com o objetivo de incorporação destas áreas ao processo produtivo (CAMPOS, 2008).

A recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólido busca propiciar um destino final adequado a um resíduo de disposição problemática ao mesmo tempo em que atua como recuperador das características físicas, químicas e biológicas de solos degradados em áreas que, por lei, devem ter suas características naturais recuperadas pelo empreendedor. Todavia, o uso de biossólido, em doses elevadas, pode adicionar grande quantidade de elementos indesejáveis ao meio ambiente, visto que alguns biossólidos podem ter contribuição de resíduos industriais, elevando os níveis de metais pesados a substâncias tóxicas. O

biossólido também pode conter agentes patogênicos em níveis geralmente proporcionais ao perfil sanitário da população beneficiada pelo serviço de saneamento (TAMANINI, 2004).

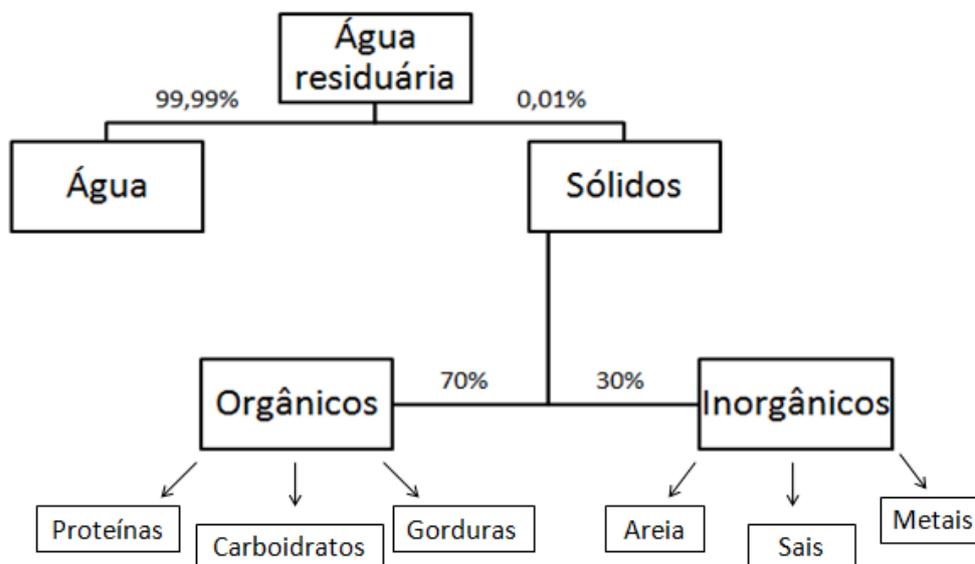
### 3.6 LODO DE ESGOTO

#### 3.6.1 CARACTERÍSTICAS DO LODO

Para Jordão e Pessoa (2005), os esgotos sanitários possuem características bem definidas, sendo constituídos basicamente de despejos domésticos e pequena quantidade de águas pluviais, água de infiltração, e, eventualmente, despejos industriais. Possui composição aproximada de 99,9% de água, e 0,1% de sólidos, que são compostos por proteínas, carboidratos, óleos e graxas, importantes nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de produtos químicos, defensivos agrícolas e alguns metais pesados (Figura 1). O lodo de esgoto apresenta uma composição variável, pois depende de sua origem (residencial ou industrial), da época do ano, do processo de tratamento e de outros fatores (BETTIOL & CAMARGO, 2001).

Ainda conforme Bettiol & Camargo (2001), o lodo pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patógenos ao homem, como coliformes fecais, salmonelas, vírus e helmintos. Assim, para o seu uso na agricultura, é necessário ter um planejamento e monitoramento, e conhecer a presença e o teor desses poluentes no lodo, precisando estar dentro das normas estabelecidas pela CONAMA 375 e CONAMA 420.

Figura 1 - Composição do lodo de esgoto



Fonte: Adaptado de Melo & Marques (2000)

### 3.6.2 PANORAMA 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; 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.

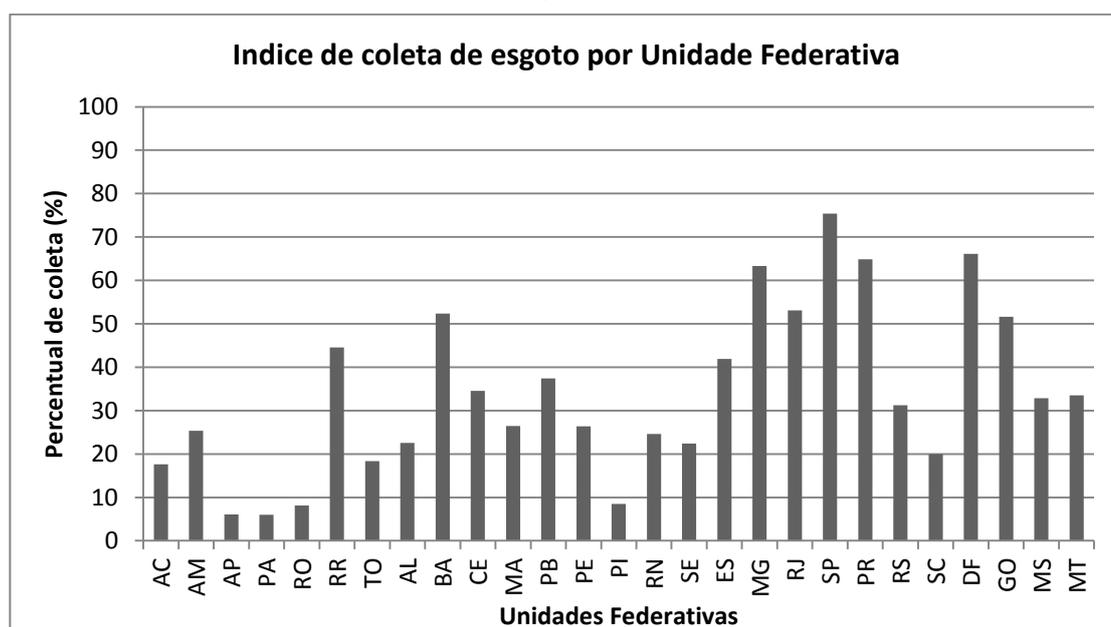
As práticas usuais de disposição de lodo de esgoto, como os “aterros sanitários e controlados” ou os “despejos a céu aberto”, são alternativas de custo elevado ou têm potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis, além de se constituírem, frequentemente, em focos de problemas de saúde pública, 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). Atualmente 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, 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 2, 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 2 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação



Fonte: Adaptado de Brasil (2014)

O estudo abordado por Kelessidis & 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 o lodo de esgoto. No Brasil, os estudos

acerca do assunto ainda são escassos, mas a quantidade de autores que indicam o uso do lodo de esgoto para o uso agrícola é crescente.

### 3.6.3 UTILIZAÇÃO DE LODO COMO MATÉRIA ORGÂNICA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O uso agrícola do lodo de esgoto como adubo orgânico é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final deste resíduo, devido a sua sustentabilidade e seu efeito pode ser potencializado, aliando-se utilização agrícola e recuperação de áreas degradadas (ROCHA, 1998). Para a utilização agrícola do lodo de esgoto é necessário que seus parâmetros de qualidade atendam ao disposto na resolução nº 375 do Conama (BRASIL, 2006). E Assim, o processo de higienização torna-se uma etapa fundamental para a reciclagem em termos de carga de poluentes e microorganismos (ROCHA, 2009). A sua utilização como substrato na produção florestal ou agricultura tem como benefício à incorporação de macro e micronutrientes, que beneficiam diversas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, com reflexos diretos na produtividade, além da matéria orgânica que melhora o condicionamento físico do solo e pode reduzir a utilização de fertilizantes, aumentando a retenção de umidade em solos arenosos e melhorando a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos (ANDREOLI *et al.* 1999).

Folegatti (1999) cita as seguintes vantagens na utilização de lodo como fonte de matéria orgânica: controle da poluição, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes, aumento da produtividade agrícola e melhoria da qualidade dos solos.

Apesar de ainda serem escassas, algumas pesquisas mostram que o lodo é um resíduo com cenários favoráveis para a produção de plantas. Melo & Marques (2000) apresentam em sua pesquisa, informações sobre o uso do lodo de esgoto para as espécies vegetais cana de açúcar, milho, sorgo e azevém. Bettiol & Camargo (2000) apresentam informações sobre aproveitamento do lodo para arroz, aveia, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, café e pêssego. De uma maneira geral, pode ser caracterizado como um material bastante rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e com concentração relativamente elevada de nitrogênio e outros minerais (ROCHA & SHIROTA, 1997).

### 3.7 RESÍDUO DE MINERAÇÃO

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, disposição de material estéril (ou inerte ou não aproveitável) proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016). Na geração de resíduos da mineração, destaca-se a existência dos resíduos sólidos de extração, que é denominado estéril e do tratamento/beneficiamento, chamado no meio da mineração de rejeito.

O estéril é definido como minérios com pouco ou nenhum mineral útil. Refere-se, também, aos acompanhantes de minério, que não têm aplicação econômica. Já o rejeito é o material resultante dos processos extrativos da mineração, que não é aproveitado economicamente, após passar por processo de beneficiamento.

### 3.8 COBERTURA VEGETAL

Para Carcedo & Fernandez (1989), 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 instáveis, a proteção dos recursos hídricos e a integração paisagística.

Na atividade de mineração, normalmente a superfície é suprimida de vegetação e as camadas de solo e rochas são removidas, causando extremas alterações no perfil do solo original (USSIRI & LAL, 2005). Além disso, a camada superficial é frequentemente compactada pelas máquinas utilizadas na recomposição topográfica da área minerada (LIPIEC et al., 2003), afetando negativamente o movimento da água, a aeração e o desenvolvimento radicular das plantas ao longo do novo perfil (SENCINDIVER & AMMONS, 2000).

Revegetar solos degradados por mineração é uma ação necessária para a mitigação dos impactos negativos das atividades exercidas no local anteriormente, pois as plantas modificam e melhoram a estrutura do solo (YUNUSA & NEWTON, 2003).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados na elaboração deste trabalho e como foi feita a coleta dos mesmos, assim como, a metodologia utilizada no experimento.

### 4.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados no experimento foram: resíduo de mineração, solo de cobertura, lodo de esgoto e aveia preta como cobertura vegetal.

#### 4.1.1 Resíduos de mineração

O resíduo de mineração foi coletado em uma área abandonada localizada no município de Novo Hamburgo/RS, que anteriormente era utilizada como pedreira (Figura 3).

A fim de obter uma boa representatividade das amostras, o resíduo foi coletado em múltiplos pontos prevendo uma distribuição espacial das partículas, conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004).

Figura 3 - Coleta de Resíduo de Mineração



Autor: Maila Artico, 2017

#### 4.1.2 Solo de cobertura

Assim como o resíduo de mineração, o solo de cobertura também foi coletado na área da pedreira localizada no município de Novo Hamburgo/RS. No ponto de coleta das amostras, a superfície foi limpa, com o objetivo de remover restos vegetais, sem que a camada superficial do solo fosse removida, como pode ser observado na Figura 4. Conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004), foram realizadas amostragens para a obtenção de amostras representativas de todos os materiais.

Figura 4 - Coleta do solo de cobertura



Autor: Maila Artico, 2017

#### 4.1.3 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto foi coletado diretamente na Companhia Municipal de Saneamento (COMUSA), na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na cidade de Novo Hamburgo/RS. Como nos demais materiais, as amostras foram coletadas em vários pontos e diferentes profundidades, a fim de obter uma boa representatividade nas amostras (Figura 5).

Figura 5 -Leito de secagem e coleta de lodo



Autor: Maila Artico, 2017.

#### 4.1.4 Cobertura vegetal

A espécie herbácea de crescimento hibernal escolhida foi a Aveia Preta (*avena strigosa*), e foi adquirida em mercado varejista, ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - Semente de Aveia Preta



Fonte: Autora, 2017.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 ÁREA AMOSTRAL

#### - SOLO DE COBERTURA E RESÍDUO DE MINERAÇÃO

O solo de cobertura e o resíduo de mineração foram coletados em área abandonada localizada no município de Novo Hamburgo, sob coordenadas geográficas  $29^{\circ}39'04''\text{S}$   $51^{\circ}07'15.67''\text{O}$ , como pode ser visualizada na Figura 7. A área em questão realizava a extração de basalto a céu aberto.

Figura 7 - Área amostral do Resíduo de mineração e Solo de cobertura



Fonte: Autora, 2017.

### - LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto foi coletado diretamente na Companhia Municipal de Saneamento (COMUSA), em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na cidade de Novo Hamburgo/RS.

Figura 8- Local da coleta do Lodo (COMUSA)



Autor: Maila Artico, 2017.

O lodo de ETE da presente pesquisa é oriundo de um sistema anaeróbio e o tratamento realizado através de reatores RALF.

#### 4.2.2 ÁREA EXPERIMENTAL

As amostras 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, onde foi feita a preparação das amostras e posteriormente foi instalado o experimento.

Figura 9 - Vista externa da área experimental (planta piloto)



Fonte: Autora, 2017.

#### 4.2.3 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

A preparação de subamostras para realização de ensaios de caracterização de resíduo de mineração, solo de cobertura e lodo foi realizada conforme método de quarteamento definido pela NBR 10.007 (ABNT, 2004). A Figura 10 ilustra esta etapa.

Figura 10 - (a) material sendo homogeneizado (b) Material sendo quarteado (c) e (d) Amostras para análise.



Autor: Maila Artico, 2017.

#### 4.2.4 ANÁLISE QUÍMICA

Após a coleta, as amostras foram submetidas à análise química no Laboratório de Análise de Solo da UFRGS. Para o solo de cobertura e rejeito os parâmetros analisados foram: argila, pH em H<sub>2</sub>O, P, K, teor de matéria orgânica, Al, Ca, Mg, S, Zn, Cu, B, Mn, Fe e Na. E, para o lodo de esgoto foram analisados pH, densidade, umidade, Carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cd, Ni, Cr, Pb, Ar, Se, Co, Mb e Bo.

Todos as referidas análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

#### 4.2.5 SECAGEM

O material foi submetido à secagem natural ao ar livre, por meio da ação dos ventos e cobertos em momentos de umidade elevada e períodos de chuvas (Figura 11 a). Devido à alta umidade e chuvas frequentes no período de secagem, foi necessário realizar a secagem completa dos materiais em estufa a 60°C no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) da UFRGS (Figura 11 b). Com o material já seco, foi possível efetuar a montagem do experimento, calculando a massa de cada material necessária para atingir a carga de matéria orgânica (%MO) desejada (Figura 11 c).

Figura 11 - (a) Disposição do material para secagem ao ar livre (b) Secagem do material em estufa a 60°C (c) Pesagem do material seco



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autora, 2017.

#### 4.2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

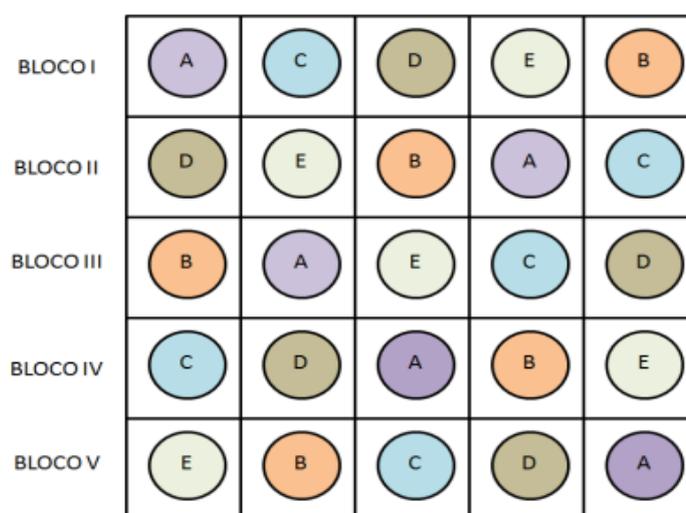
O experimento foi disposto em um delineamento em blocos casualizados, envolvendo 5 tratamentos e 5 repetições, num total de 25 unidades experimentais

(Figura 12). Como Unidades Experimentais, foram utilizados tubos de PVC com 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Estas unidades foram dispostas em bancadas através de sorteio.

Os tratamentos utilizados foram:

- Tratamento (A) = Resíduo de mineração;
- Tratamento (B) = Resíduo de mineração + lodo de ETE (1,8%MO);
- Tratamento (C) = Resíduo de mineração + solo de cobertura (1,8%MO);
- Tratamento (D) = Solo de cobertura (3,2%MO);
- Tratamento (E) = Resíduo de mineração + lodo de ETE (3,2%MO).

Figura 12 - Delineamento e disposição dos vasos



Fonte: Autora, 2017.

#### 4.2.7 REVEGETAÇÃO

A Aveia Preta (*avena strigosa*) foi escolhida por sua alta capacidade de perfilhamento e seu crescimento ser rápido, facilitando a geração de resultados. É importante que inicialmente seja utilizada uma espécie de gramínea para a recuperação de uma área degradada, não sendo apropriado, por exemplo, iniciar com o plantio de espécies arbóreas, sem antes favorecer o ambiente para esta prática.

Figura 13 - Aveia Preta sendo semeada



Fonte: Autora, 2017.

As sementes de Aveia Preta (*Avena strigosa*) foram semeadas em 01 de setembro de 2017 (Figura 13), com uma quantidade aleatória de sementes por vaso e mantidas a 60% de sua capacidade de campo, que germinaram seis dias após a semeadura. Em 11 de setembro de 2017 houve a necessidade de fazer um desbaste, e foram deixadas dez mudas por vaso (Figura 14).

Figura 14 - Vasos após o primeiro desbaste



Fonte: Autora, 2017.

#### 4.2.8 IRRIGAÇÃO

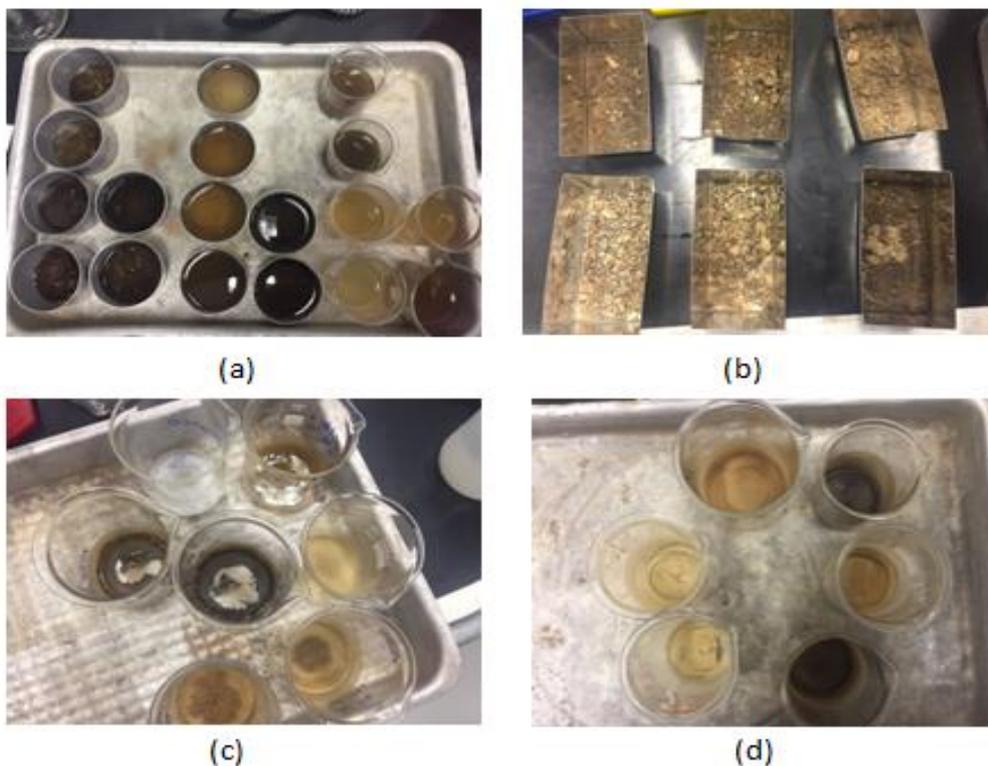
De acordo com Veihmeyer & Hendrickson(1949), capacidade de campo é a quantidade de água necessária para ocupar todos os poros do solo após todo o excesso ter sido drenado. Desta forma, antes da montagem do experimento, foi feito um teste de capacidade de campo com todos os tratamentos e, no decorrer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

Após a finalização da montagem do experimento, foi analisada constantemente a necessidade de adicionar água, com o objetivo de manter os tratamentos nas condições descritas.

#### 4.2.9 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica foi feita no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM) pelo método da pipeta descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). A Figura 15 ilustra as frações granulométricas após o ensaio.

Figura 15 - (a) Frações granulométricas molhadas (b) Fração de areia grossa seca (c) Fração de Argila+Silte seca (d) Fração de Argila seca



Após a execução do método, as frações de Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila foram calculadas utilizando, respectivamente, as Equações 1,2,3 e 4.

$$\% \text{ AreiaGrossa} = M_{AG} * 5 \quad (1)$$

$$\% \text{ AreiaFina} = M_{AF} * 5 \quad (2)$$

$$\% \text{ Silte} = 100 - (\% \text{ AreiaFina} + \% \text{ AreiaGrossa} + \% \text{ Argila}) \quad (3)$$

$$\% \text{ Argila} = ((M_{Branco} + M_{Ar}) - M_{Branco}) * 200 \quad (4)$$

Onde:

$M_{AG}$  = Massa de areia grossa

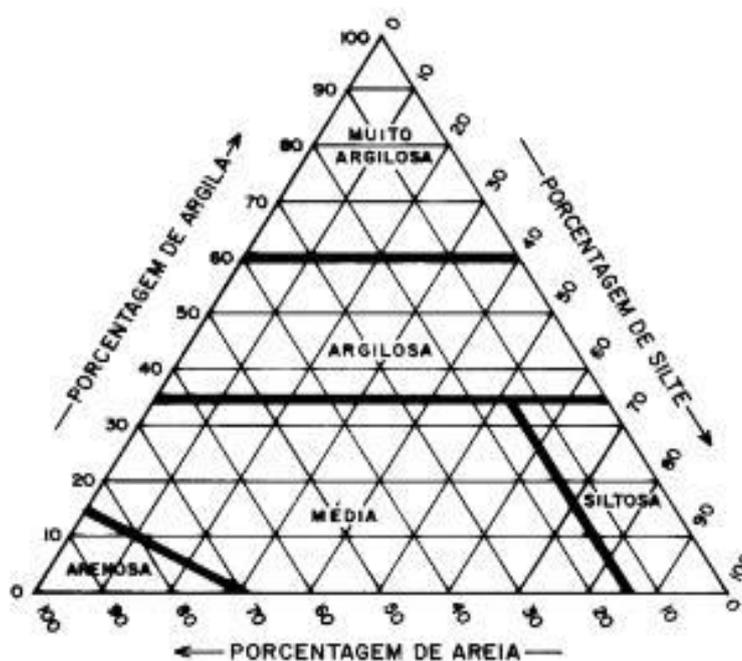
$M_{AF}$  = Massa de areia fina

$M_{AR}$  = Massa de argila

$M_{Branco}$  = Massa do tratamento apenas com dispersantes

Com as frações calculadas, foi possível plotar os dados no Diagrama triangular simplificado (Figura 16) para a classificação textural do solo (EMBRAPA, 1997). A classe textural do solo é obtida através da interseção, no triângulo, das respectivas proporções de areia, silte e argila, no sentido das setas apresentadas.

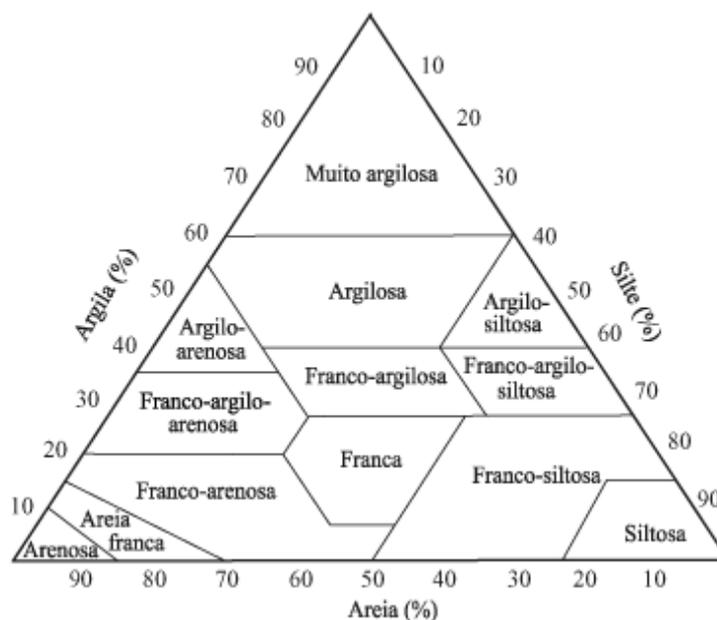
Figura 16 - Diagrama triangular simplificado (utilizado pela Embrapa)



Fonte: EMBRAPA, 1997

Como dois dos materiais utilizados no experimento tiveram a mesma classificação perante o diagrama utilizado pela EMBRAPA mesmo que tivessem um comportamento diferente devido as diferentes quantidades de areia e argila, optou-se por utilizar também o diagrama utilizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1951) , disposto na Figura 17.

Figura 17 - Diagrama utilizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos



Fonte: USDA, 1951

A textura do solo define a capacidade de se deixar atravessar por efluentes e exerce influencia sobre a capacidade de carga do solo, interferindo diretamente na capacidade de retenção de contaminantes do solo.

#### 4.2.10 ACOMPANHAMENTO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

O crescimento da Aveia Preta foi monitorado até 13 de novembro quando foram colhidas todas as mudas, já próximo ao final do ciclo de crescimento. A totalidade da parte aérea de cada parcela foi removida, imediatamente armazenada em sacos de papel e seca em estufa a 60° C até peso constante para obtenção da massa. Após o corte da parte aérea, o sistema radicular de todos os tratamentos (vasos), foi separado manualmente do solo. Todo material coletado foi lavado com água, igualmente seco em estufa de ar forçado até peso constante e pesado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para as análises químicas e granulométricas, altura e massa foliar.

### 5.1 ANÁLISE QUÍMICA

Neste ítem serão apresentados os resultados referentes às análises químicas realizadas nos materiais. O laudo completo está disposto nos anexos.

#### 5.1.1 Resíduo de mineração

Na Tabela 1, encontra-se o resultado da análise química do resíduo de mineração.

Tabela 1 - Parâmetros analisados para o resíduo de mineração

Parâmetros	Amostra	SBCS (2004)
Argila (%)	13,0	Classe 4
pH	6,5	Alto
CTC pH 7 (cmol/dm <sup>3</sup> )	29,4	Alto
CTC bases	96,0	Alto
CTC Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,0	Muito baixo
P (mg/dm <sup>3</sup> )	>100	Muito alto
K (mg/dm <sup>3</sup> )	48,0	Baixo
MO (%)	0,1	Baixo
Ca (cmol/dm <sup>3</sup> )	19,8	Alto
Mg (cmol/dm <sup>3</sup> )	8,2	Alto
S (mg/dm <sup>3</sup> )	13,0	Alto
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	1,9	Alto
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	15,0	Alto
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,1	Baixo
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	18,0	Alto

Assim, pode-se observar que há pouca disponibilidade de nutrientes no resíduo de mineração, com restrições para a vegetação dado seu baixo teor de matéria orgânica (MO=0,1%), que limitam o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento de cobertura vegetal sobre o mesmo.

### 5.1.2 Solo de cobertura

Na Tabela 2, encontra-se o resultado da análise química do Solo de cobertura.

Tabela 2 - Parâmetros analisados para o Solo de cobertura

Parâmetros	Solo de cobertura	SBCS (2004)
Argila (%)	13,0	Classe 4
pH	6,4	Alto
CTC pH 7 (cmol/dm <sup>3</sup> )	13,5	Médio
CTC bases	84,0	Alto
CTC Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,0	Muito baixo
P (mg/dm <sup>3</sup> )	18,0	Médio
K (mg/dm <sup>3</sup> )	88,0	Alto
MO (%)	3,2	Médio
Ca (cmol/dm <sup>3</sup> )	8,6	Alto
Mg (cmol/dm <sup>3</sup> )	2,5	Alto
S (mg/dm <sup>3</sup> )	26,0	Alto
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	7,2	Alto
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	2,7	Alto
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,2	Médio
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	2,0	Baixo

Pode-se observar, portanto, que o solo de cobertura possui características químicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento de cobertura vegetal dado o seu teor de matéria orgânica de 3,2% que indica a sua alta fertilidade.

Potafos (1998) considera que a faixa de pH entre 6,0 e 6,5 é a mais adequada para a maioria das culturas comerciais, pois é nela que ocorre a melhor interação entre os macro/micronutrientes e as plantas. Para valores de pH abaixo de 5,5 haverá aumento da concentração de alumínio e hidrogênio em solução aliada à indisponibilização de macronutrientes. Em valores acima de 6,5 os micronutrientes ferro, cobre, zinco e manganês reduzem sua disponibilidade podendo comprometer o desenvolvimento vegetal. Analisando a Tabela 2, pode-se perceber que o solo de cobertura possui um pH propício ao crescimento vegetal.

### 5.1.3 Lodo de esgoto

A Resolução CONAMA Nº 375 (BRASIL, 2006) que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, estabelece as concentrações máximas permitidas no lodo de esgoto para uso agrícola. Analisando

a Tabela 3, pode-se constatar que o lodo amostrado respeita a legislação, então pode ser utilizado para uso agrícola.

Tabela 3 - Comparação dos parâmetros analisados para o lodo com as concentrações máximas permitidas CONAMA 375

Parâmetros	Amostra	CONAMA 375
Cobre total (mg/kg)	69,0	1500
Zinco total (mg/kg)	461,0	2800
Cádmio total (mg/kg)	<0,2	39
Cromo total (mg/kg)	31,0	1000
Níquel total (mg/kg)	21,0	420
Chumbo total (mg/kg)	21,0	300
Arsênio total (mg/kg)	14,0	41
Selênio total (mg/kg)	<4,0	100
Bário total (mg/kg)	132,0	1300
Molibidênio total (mg/kg)	0,7	50
Mercurio (mg/kg)	0,2	17

A Resolução CONAMA Nº 420 (BRASIL, 2009) dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e estabelece as concentrações de referência em que é necessário iniciar a prevenção. Analisando a Tabela 4, pode-se constatar que os parâmetros cobre total e zinco total estão acima do estabelecido na legislação, então não é recomendado que o lodo seja disposto diretamente como substituinte do solo de cobertura.

Tabela 4 - Comparação dos parâmetros analisados para o lodo amostrado com as concentrações máximas permitidas CONAMA 420

Determinações	Amostra	CONAMA 420
Cobre total (mg/kg)	69,0	60
Zinco total (mg/kg)	461	300
Cádmio total (mg/kg)	<0,2	1,3
Cromo total (mg/kg)	31,0	75
Níquel total (mg/kg)	21,0	30
Chumbo total (mg/kg)	21,0	72
Arsênio total (mg/kg)	14,0	15
Selênio total (mg/kg)	<4,0	5
Bário total (mg/kg)	132,0	150
Cobalto total (mg/kg)	6,0	25
Molibidênio total (mg/kg)	0,7	30
Boro total (mg/kg)	15,0	-
Mercurio (mg/kg)	0,2	0,5

Por este motivo, há a necessidade de misturá-lo com outra substância para diminuir estas concentrações, assim, neste estudo, foi utilizado o resíduo de mineração. Analisando a Tabela 5, pode-se observar que ao misturar o lodo com o resíduo de mineração, resultando nos tratamentos B e E, as concentrações de Cobre e Zinco ficam dentro das recomendações da CONAMA 420.

Tabela 5 - Comparação dos parâmetros Cu e Zn para dos tratamentos B e E com as concentrações máximas permitidas CONAMA 420

	Amostra	Lodo + resíduo de mineração (1,8% MO)	Lodo + resíduo de mineração (3,2% MO)	CONAMA 420
Cobre total (mg/kg)	69,0	21,1	26,1	60
Zinco total (mg/kg)	461,0	58,4	100,5	300

## 5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Neste item serão apresentados os resultados referentes às análises granulométricas realizadas nos materiais.

### 5.2.1 Resíduo de mineração

A Tabela 6 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo de mineração indicando a classificação textural do material.

Tabela 6 - Distribuição Granulométrica do Resíduo de Mineração

Resíduo de mineração	
Teor de areia grossa (%)	77,5
Teor de areia fina (%)	7,4
Teor de silte (%)	11,9
Teor de argila (%)	3,2

Pode-se observar que a textura do resíduo de mineração é classificada como arenosa, pelo diagrama da Figura 16, apresentando 84,9% de areia, sendo 77,5% grossa. Utilizando a classificação do diagrama da Figura 17, ele é classificado da mesma forma. Solos arenosos são mais permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica. São limitantes ao método de irrigação por sulcos, devido à baixa capacidade de retenção de água o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo e conseqüentemente elevadas perdas por percolação.

### 5.2.2 Solo de Cobertura

A Tabela 7 apresenta a distribuição granulométrica do solo de cobertura representando a classificação textural do material.

Tabela 7 - Distribuição Granulométrica do Solo de Cobertura

Solo de Cobertura	
Teor de areia grossa (%)	29,1
Teor de areia fina (%)	45,4
Teor de silte (%)	11,9
Teor de argila (%)	13,6

Pode-se observar que a textura do solo de cobertura é classificada como média, na classificação do diagrama da Figura 16, apresentando 74,5% de areia, sendo 29,1% grossa. Pela classificação do diagrama da figura 17, é classificado como Franco-Arenosa, o que justifica a sua boa drenagem e boa capacidade de retenção de água.

### 5.2.3 Lodo de esgoto

A Tabela 8 apresenta a distribuição granulométrica do lodo de esgoto indicando a classificação textural do material.

Tabela 8 - Distribuição Granulométrica do Lodo de esgoto

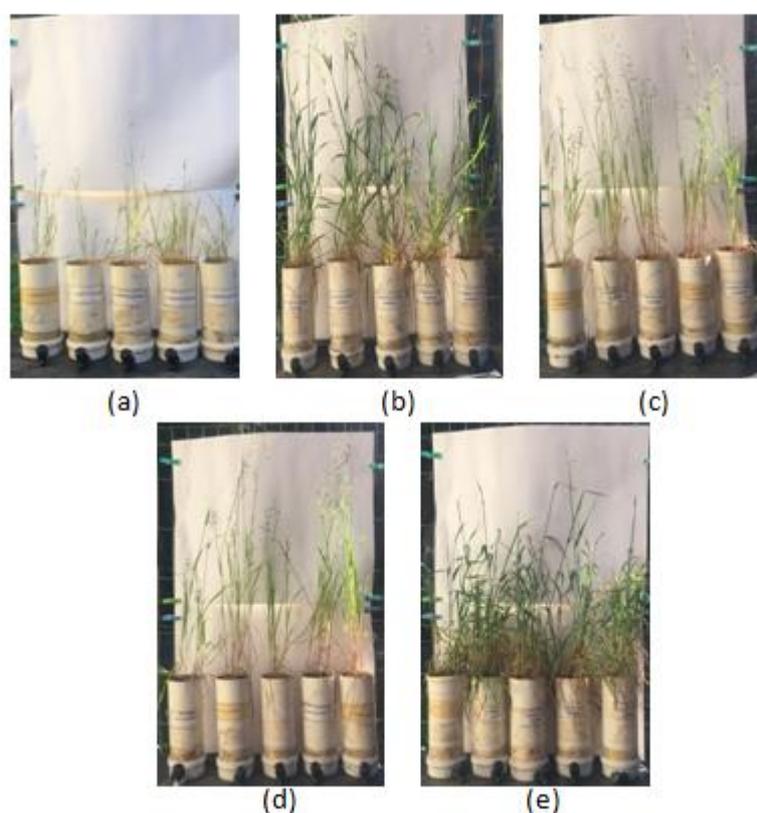
Lodo de esgoto	
Teor de areia grossa (%)	19,2
Teor de areia fina (%)	27,7
Teor de silte (%)	42,9
Teor de argila (%)	10,2

Pode-se observar que a textura do lodo de esgoto é classificada como média, utilizando a classificação do diagrama da Figura 16, apresentando 47% de areia, sendo 19% grossa. Pela classificação do diagrama da Figura 17, é classificado como Franco, o que justifica a sua ainda melhor drenagem e melhor capacidade de retenção de água que o solo de cobertura, pois apresenta uma quantidade de silte e argila maior.

### 5.3 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Sendo objetivo estudar a utilização de lodo de esgoto como substrato para crescimento vegetal, os 25 tratamentos foram semeados com aveia preta e a produção de massa vegetal foi mensurada em termos de altura foliar e matéria seca da parte aérea e radicular. A Figura 18 mostra o crescimento obtido após o término do experimento.

Figura 18 - Crescimento da Aveia Preta nos diferentes tratamentos (a) A, (b) B, (c) C, (d) D, (e) E.



Fonte: Autora, 2017

A Figura 18 indica valores médios referentes à altura foliar produzida pela aveia preta a partir dos tratamentos propostos no experimento, após o crescimento e indica os valores médios referentes à matéria seca foliar e radicular produzidas pela aveia preta a partir dos tratamentos propostos no experimento, após o crescimento. E a Figura 19 mostra uma representação das raízes de um dos tratamentos após a secagem.

Tabela 9- Valores médios de matéria seca (g) parte aérea e radicular para os cinco tratamentos

	A (Resíduo de mineração)	B (Resíduo de mineração + Lodo 1,8%)	C (Resíduo de mineração + Solo 1,8%)	D (Solo 3,2%)	E (Resíduo de mineração + Lodo 3,2%)
Altura Foliar (cm)	20	44,4	39,8	41	38,2
Massa foliar (g)	0,7	5,1	2,2	2,5	5,5
Massa radicular (g)	1,1	4,1	1,2	1,4	4,5
Massa total	1,8	9,2	3,4	3,9	10

Figura 19 – Raízes secas



Fonte: Autora, 2017.

No que diz respeito ao crescimento da aveia nos tratamentos, observou-se, que aplicação de lodo aumentou consideravelmente o crescimento vegetal, sendo ele, em termos de matéria seca foliar e radicular significativamente maior ao utilizar lodo como fonte de matéria orgânica.

Pôde-se observar também, que a altura foliar não é uma variável significativa na área ambiental, visto que, apesar de visualmente ter alcançado uma altura semelhante aos tratamentos utilizando o lodo como matéria orgânica, os tratamentos com solo de cobertura tiveram uma quantidade de massa foliar significativamente menor.

O melhor desenvolvimento da aveia preta, em termos de massa seca, ocorreu no tratamento E, com a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto com um percentual de matéria orgânica de 3,2%, ocorrendo um crescimento parecido no tratamento B, com a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto com um percentual de matéria orgânica de 1,8%. Mostrando que, a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto é capaz de promover adequadamente o crescimento de aveia preta.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades de recuperação de áreas degradadas implicam a implantação e manutenção através de várias medidas, de um horizonte de solo capaz de recuperar, recompor ou restituir um ecossistema, inicialmente de flora e posteriormente com fauna (ITGE, 1989). É necessário desenvolver uma cultura de segurança, através de educação pública, de forma que o planejamento ambiental antecipe a ocorrência de desastres e degradação de áreas, sem qualquer tipo de controle.

Vários trabalhos têm sido publicados considerando o uso de lodo de esgoto como fonte de nutrientes e matéria orgânica em solo agrícola e mais especificamente em solo de áreas degradadas por, abordando não só o crescimento vegetal, mas também melhorias físicas e biológicas.

O melhor desenvolvimento da aveia preta, em termos de massa seca, ocorreu no tratamento E, com a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto com um percentual de matéria orgânica de 3,2%, ocorrendo um crescimento parecido no tratamento B, com a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto com um percentual de matéria orgânica de 1,8%. Mostrando que, a mistura de resíduo de mineração e lodo de esgoto é capaz de promover adequadamente o crescimento de aveia preta,

Espera-se que os melhores resultados em termos de crescimento vegetal (matéria seca total) estejam onde os suprimentos de nutrientes estão mais adequados, ou seja, onde há condições químicas para que as plantas se abasteçam dos nutrientes necessários. Para avaliar se os teores de macro e micronutrientes em tecido foliar da aveia preta (*Avena strigosa*) nos tratamentos mantiveram-se dentro de padrões estabelecidos para esta espécie será necessário uma análise química do tecido foliar das plantas com o objetivo de diagnosticar ou confirmar a presença, deficiência ou toxidez de algum elemento ou nutrientes, avaliar o estado nutricional da planta e verificar a translocação de algum elemento potencialmente nocivo.

Assim, utilizar o lodo de esgoto em mistura com resíduos de mineração na recuperação de áreas degradadas, auxiliando na mitigação e/ou redução dos impactos ambientais de atividades de mineração é uma alternativa à disposição dos mesmos em aterros.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Wellington Carlos de – Análise da respiração microbiana e das populações de Acari e Collembola na recuperação de áreas degradadas com a utilização do lodo de esgoto - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003, 122p. il - dissertação de Mestrado

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ANDREOLI, Cleverson V., PEGORINI, Eduardo S., FERNANDES, Fernando – Disposição do lodo no solo, capítulo 8 – – 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).

ANDREOLI, C. V. (Coord.). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: SANEPAR\PROSAB, 1999.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, 17:94-101, 2002.

BAYER, Cimélio, MIELNICZUK, João – Dinâmica e função da matéria orgânica, capítulo 2 – in Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais – SANTOS, Gabriel Araújo; CAMARGO, Flávio A. de O.; editores: Porto Alegre: Gênese, 1999, 508p.:II

BETTIOL, W.; 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., 2010.

BITAR, Omar Y. – Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo – São Paulo: 1997. 185p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Minas.

BRASIL. Decreto n. 97.632, de 10 abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. 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: 01/12/2017.

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 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. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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=237>>. Acesso em: 28/04/2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1998. 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. 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.

CASTRO, L A R; ANDREOLI, C V; PEGORINI, E S; TAMANINI, C R; FERREIRA, A C. – Efeito do Lodo de Esgoto como Recuperador de Áreas Degradadas com Finalidade Agrícola – in Anais do V Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas: Água e Diversidade – A C Davide, S A Botelho e S C S Rosado (coordenadores). SOBRADE, 18 a 22 de novembro de 2002, Belo Horizonte, MG. 536p. 234-236p.

CASTRO, A.L.F.G, SILVA, O.R, SCALIZE, P.S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: Uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. Mukti-Science Journal, pp. 66-73, 2015.

CAMPOS, F.S. & ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. R. Bras. Ci. Solo, 32:1389-1397, 2008.

CARCEDO, F.J.A., FERNANDEZ, L.V. Manual de restauracion de terrenos y evaluacion de impactos ambientales en mineria. Madrid: ITGE/MTE, 1989. 321 p. (Série Ingeniería Geoambiental).

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

CRPM. Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo. MME- Ministério de Minas e Energia, 2002.

DIAS, L. E. & GRIFFITH, J. J. – Conceituação e caracterização de áreas degradadas – in: DIAS, L.E; MELLO, J.W.V. (Ed). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Solos. 1998. P.1-8. 251

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 01).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Rio de Janeiro, RJ) – Sistema brasileiro de classificação dos solos – Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999, 412p.

EMBRAPA – Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná – Londrina: EMPRAPA/IAPAR, v1 v2, 1984.

FILIZOLA, H.F.; SOUZA, M.D.; GOMES, M.A.F. & BOEIRA, R.C. Lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2006. p.137-148

FIRJAN. Manual de Licenciamento ambiental : guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2004.

FIRPO, B. A.. Recuperação de Áreas Degradadas. In: Cristiano Poletto. (Org.). Introdução ao Gerenciamento Ambiental. 1ed. Rio de Janeiro: Editora InterciênciaLtda, 2010, v. 1, p. 181-237

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.

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

GRIFFITH, J. J. - O estado da arte de recuperação de áreas mineradas no Brasil - 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, 77-82p. 520p. il editora da UFPR

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília, 1990. 96 f.

IBRAHIM, M.M.C. Utilização de áreas degradadas pela mineração: o caso da Pedreira Itaquera, São Paulo, SP. São Paulo, 1996. 183p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

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

JORDÃO, E. P.; Pessoa, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos, 4. Ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.

KAGEYAMA, P. Y., GANDARA, F. B. & OLIVEIRA, R.E. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P.Y., OLIVEIRA, R. E; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L. & GANDARA, F.B. (orgs.) Restauração ecológica de ecossistemas naturais. FEPAF. Botucatu, SP. 2003.

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.

KOPEZINSKI, I. Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores, Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2000, 103 p.

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

LIPIEC, J., ARVIDSSON, J., MURER, E. Review of modelling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. Soil and Tillage Research, v.73,2003.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. C.; COELHO, M. S.; MATEUS, R. F.; CARDOSO, I.M. Adubos verdes em cafezais na Zona da Mata de Minas Gerais: características e cinéticas de mineralização de carbono e nitrogênio. R. Bras. Ci. Solo, 2008.

MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.109-141

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

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

OLIVEIRA FILHO, J. M. de; CARVALHO, M.A. de; GUEDES, G.A. de. Matéria orgânica do solo. Inf. Agropec. Belo Horizonte, v.13, 1987.

POTAFOS - INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. Manual internacional de fertilidade do solo. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

REIS, A., TRES, D. R., BECHARA, F. C., A nucleação como paradigma na restauração ecológica: "espaço para o imprevisível". Simpósio sobre recuperação de áreas degradadas com ênfase em matas ciliares, 2006.

ROCHA, T. R., Utilização do lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ROCHA, A. L.C. L. Higienização de Lodo anaeróbio de esgoto por meio alcalino estudo de caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia - GO. Dissertação. Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2009.

Rocha, M. T.; SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. Revista de Estudos Ambientais, v.1, 1999.

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.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SENCINDIVER, J.C.; AMMONS, J.T. Mine soil Genesis and classification. In: BARNHISEL, R.I. et al. Reclamation of drastically disturbed lands. Madison, WI: American Society Agronomy, 2000.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – Porto Alegre, 2004.

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.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólido. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, 2001. p.133-180.

USDA, United States Department of Agriculture, 1951. 503 p. Washington.

USSIRI, D.A.N.; LAL, R. Carbon sequestration in reclaimed mine soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005.

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

WILLIAMS, D.D.; BUGIN, A; REIS, J.L.B., coords. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: Ibama, 1990. 96 p.

YUNUSA, I.A.M.; NEWTON, P.J. Plants for amelioration of subsoil constraints and hydrological control: the primer-plant concept. *Plant and Soil*, v.257, n.2, 2003.

**ANEXOS – Laudo das análises químicas dos materiais**

## ANEXO A – Laudo da análise do solo de cobertura


**FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. DE SOLOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES**
**50 anos**  
 Servindo a 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>tot</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sub>tot</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg <sub>tot</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

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000  
 Fones/Fax: (0xx51) 3308-6023 - 3308-7457 - E-mail: lsolos@hotmail.com - www.ufrgs.br/labsolos

## ANEXO B - Laudo da análise do resíduo de mineração



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 <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sub>TOC</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg <sub>TOC</sub> cmol <sub>c</sub> /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 <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	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*  
Clesio Gianello  
Eng<sup>o</sup> Ag<sup>o</sup> CREA RS011476 0.000  
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 - E-mail: lsolos@hotmail.com - www.ufrgs.br/labsolos

## ANEXO A – Laudo da análise do Lodo de ETE



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
Mercurio - 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