



---

---

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

---

---

**EDUARDO KERCHER DE OLIVEIRA**

ESTUDO DE CRESCIMENTO VEGETAL DE *ERAGROSTIS TEF* EM  
TECNOSSOLOS COM REJEITOS DE CARVÃO MINERAL DA  
MINA DE MOATIZE, MOÇAMBIQUE

Porto Alegre

Novembro 2021

**EDUARDO KERCHER DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DE CRESCIMENTO VEGETAL DE ERAGROSTIS TEF EM  
TECNOSSOLOS COM REJEITOS DE CARVÃO MINERAL DA MINA DE MOATIZE,  
MOÇAMBIQUE**

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 ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Ivo André H. Schneider

Co-orientadora: Jéssica Weiler

Porto Alegre

Novembro 2021

## CIP - Catalogação na Publicação

Kercher de Oliveira, Eduardo  
ESTUDO DE CRESCIMENTO VEGETAL DE ERAGROSTIS TEF EM  
TECNOSSOLOS COM REJEITOS DE CARVÃO MINERAL DA MINA DE  
MOATIZE, MOÇAMBIQUE / Eduardo Kercher de Oliveira. --  
2021.

67 f.

Orientador: Ivo André H. Schneider.

Coorientadora: Jéssica Weiler.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia  
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Carvão Mineral. 2. Rejeitos. 3. Tecnossolos. 4.  
Eragrostis tef.. I. H. Schneider, Ivo André, orient.  
II. Weiler, Jéssica, coorient. III. Título.

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

EDUARDO KERCHER DE OLIVEIRA

ESTUDO DE CRESCIMENTO VEGETAL DE ERAGROSTIS TEF EM  
TECNOSSOLOS COM REJEITOS DE CARVÃO MINERAL DA MINA DE MOATIZE,  
MOÇAMBIQUE.

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **26/11/2001** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jéssica Weiler - Coorientadora

Prof. Dr. André Camargo de Azevedo – Departamento de Engenharia de Minas - UFRGS

Prof. Dr. Juarez Amaral Filho – Department of Chemical Engineering - University of  
Cape Town

Conceito: A

Dedico este trabalho aos pais e, em especial a minha mãe que sempre me apoiou e esteve ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao professor Ivo André Homrich Schneider, meu orientador, e a Jéssica Weiler, a coorientadora, pelo auxílio e pelos ensinamentos não apenas durante a realização deste trabalho, mas também nos tempos de iniciação científica no LTM.

À Vale S.A. pelo envio das amostras de carvão que são tema deste trabalho.

À UFRGS por toda a estrutura disponibilizada e pelas experiências inesquecíveis.

Agradeço também a todos os colegas do laboratório que me acompanharam nas rotinas de pesquisa, em especial ao pessoal dos tecnossolos.

Aos colegas da Engenharia Ambiental, que foram meus parceiros nesta jornada e pelo espírito de companheirismo.

Aos professores da Engenharia Ambiental pelos conhecimentos que passaram a diante ao longo destes anos.

Por fim, agradeço aos meus familiares pelo apoio diário, em especial a mãe e o irmão com quem vivi por boa parte dos anos de universidade.

A ciência é a chave do nosso futuro e, se você não acredita  
em ciência, está nos impedindo.

*Bill Nye*

## RESUMO

A mineração de carvão se mostra como uma atividade de alto impacto ambiental em todas as fases do empreendimento, porém que, mesmo com o avanço das energias limpas, ainda vai ser empregado por muitos anos na produção de energia e na indústria. Durante o processo de beneficiamento, além do carvão, é gerada uma grande quantidade de rejeitos que precisam ser destinados de maneira correta minimizando seus impactos ambientais. Além disso, na etapa de recuperação do local minerado, grandes volumes de solo são necessários para que seja feita a reconformação topográfica e a revegetação. O intuito deste trabalho é avaliar o emprego dos rejeitos finos e grossos da mineração de carvão como constituintes de um tecnossolo que possa vir a ser utilizado na etapa de recuperação reduzindo tanto o volume final de rejeitos quanto os volumes de solo de empréstimo utilizados na recuperação. Para isso, foi elaborado um experimento empregando os rejeitos finos e grossos de carvão mineral da Mina de Moatize, Moçambique, em diferentes proporções somados com lodo de estação de tratamento de esgoto, para aporte de matéria orgânica e nutrientes, como constituintes de um tecnossolo. Para avaliar o crescimento vegetal, foi plantada a gramínea *Eragrostis tef.*, proveniente da mesma região na África. Primeiramente foi feita a caracterização tecnológica dos rejeitos de carvão, que indicou que o material possui baixos teores de enxofre e potencial de geração de acidez, indicando que o material pode ser utilizado no tecnossolo sem que seja necessária a correção do pH. Foram então montados seis diferentes tratamentos de tecnossolo variando as proporções de rejeitos grossos e finos de carvão e a adição de solo agrícola, além de um último tratamento contendo apenas solo para controle. Quanto à avaliação físico-química de solo do tecnossolo os resultados mostraram valores satisfatórios de nutrientes e micronutrientes com exceção do Potássio, que ficou muito abaixo, indicando a necessidade de adubação com este nutriente. O lodo de ETE também se mostrou uma boa alternativa para aporte de matéria orgânica e nutrientes. A *Eragrostis tef.* se desenvolveu em todos os tratamentos de tecnossolo e a análise do seu tecido vegetal mostrou bons valores de nutrientes e micronutrientes com exceção do Potássio novamente. Assim, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que os rejeitos da Camada Chipanga da Mina de Moatize somados ao lodo de ETE e ao solo agrícola tiveram bom desempenho como tecnossolos para o cultivo de *Eragrostis tef.*

Palavras-chave: carvão mineral, rejeitos, tecnossolos, *Eragrostis tef.*

## ABSTRACT

Coal mining is shown to be an activity with high environmental impact in all phases of the project, however, even with the advance of clean energy, it will still be used for many years in energy production and in industry. During the beneficiation process, in addition to coal, a large amount of tailings is generated that needs to be disposed of correctly, minimizing its environmental impacts. In addition, in the recovery stage of the mined site, large volumes of soil are needed for topographic reformation and revegetation. The purpose of this paper is to evaluate the use of coarse and fine coal mining tailings as constituents of a technosoil that can be used in the recovery stage, reducing both the final tailings volume and the soil volumes required for the recovery. For this, an experiment was carried out using the fine and coarse coal tailings from the Moatize Mine, Mozambique, in different proportions, added with sludge from a sewage treatment plant (STP), to provide organic matter and nutrients, as constituents of a technosoil. To evaluate plant growth, the grass *Eragrostis tef.* was planted, from the same region in Africa. First, the technological characterization of the coal tailings was carried out, which indicated that the material has low sulfur content and acidity generation potential, indicating that it can be used in technosoil without the need for pH correction. Six different technology treatments were then set up, varying the proportions of coarse and fine coal tailings and the addition of agricultural soil, as well as a last treatment containing only soil for comparison. As for the physicochemical soil evaluation of the tecnosoil, the results showed satisfactory values for nutrients and micronutrients, with the exception of Potassium, which was much lower, indicating the need for fertilization with this nutrient. STP sludge also proved to be a good alternative for the supply of organic matter and nutrients. *Eragrostis tef.* developed in all technosoil treatments and the analysis of its plant tissue showed good values of nutrients and micronutrients with the exception of Potassium again. Thus, based on the results obtained, it is possible to conclude that the tailings from the Chipanga Layer of the Moatize Mine, added to the STP sludge and to agricultural soil, performed well as technosoils for the cultivation of *Eragrostis tef.*

Keywords: coal, tailings, tecnosoils, *Eragrostis tef.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subcamadas definidas no plano de lavra do período de amostragem.	24
Figura 2: Tambores com as amostras armazenados junto ao prédio do LTM.	24
Figura 3: Ensaio de classificação granulométrica.	26
Figura 4: Ensaio das formas de enxofre no LTM.	27
Figura 5: Tratamentos de tecnossolo.	30
Figura 6: Experimento no pátio do LTM	31
Figura 7: Ciclos vegetais do experimento com tecnossolos.	32
Figura 8: Equipamentos utilizados na amostragem de tecnossolos.	33
Figura 9: Amostragem de tecnossolos.	34
Figura 10: Tecnossolo após amostragem.	34
Figura 11: Corte da vegetação.	35
Figura 12: Análises do lixiviado do ensaio de células úmidas para os rejeitos finos e grossos.	39
Figura 13: Concentração de metais ao longo do ensaio com células úmidas.	40
Figura 14: Relação entre o rendimento relativo de culturas e o teor de potássio no solo extraído pela solução de Mehlich-1.	45
Figura 15: Gráfico de massa seca de <i>Eragrostis tef.</i> para cada tratamento de tecnossolo.	57
Figura 16: Crescimento vegetal em cada tratamento de tecnossolo.	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fontes de energia mundiais segundo a IEA para o ano de 2018.	19
Tabela 2: Constituintes dos diferentes tratamentos e baldes de tecnossolo.	30
Tabela 3: Caracterização tecnológica dos rejeitos de carvão.	37
Tabela 4: Metais ambientalmente disponíveis nos rejeitos de carvão.	41
Tabela 5: Teores de matéria orgânica e densidade dos materiais.	42
Tabela 6: Análise química dos tratamentos de tecnossolo.	43
Tabela 7: Concentração de micronutrientes no solo.	46
Tabela 8: Análise física de solo dos diferentes tratamentos de tecnossolo.	46
Tabela 9: Massa seca de <i>Eragrostis tef.</i> para cada tratamento de tecnossolo.	47
Tabela 10: Resultados da análise de tecido vegetal da <i>Eragrostis tef.</i>	48

## LISTA DE SIGLAS

ABA: Acid Basic Accounting Method

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AP: Potencial de produção de acidez

ASTM: American Society for Testing and Material

COMGRAD-AMB Comissão de Graduação da Engenharia Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTC: Capacidade de Troca Catiônica

DAM: Drenagem Ácida de Minas

DP: Desvio padrão

DRX: Difração de Raios X

EPA: Environmental Protection Agency

EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

IEA: International Energy Agency

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LTM: Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental

MO: Matéria orgânica

NBR: Norma Brasileira

NP: Potencial de produção de neutralização

NNP: Potencial de neutralização líquido

PVC: Policloreto de Vinila

ROM: Run of Mine

SBCS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

STP: Sewage Treatment Plant

UCT: University of Cape Town

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1. Objetivo geral.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1. CARVÃO MINERAL: EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO.....	18
3.2. IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO.....	20
3.3. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS.....	21
3.4. TECNOSSOLOS.....	22
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	24
4.1. AMOSTRAS DE CARVÃO.....	24
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	25
4.2.1. Classificação Granulométrica.....	25
4.2.2. Análise imediata.....	26
4.2.3. Enxofre total e formas de enxofre.....	26
4.2.4. Análise mineralógica.....	27
4.2.5. Potencial de geração de acidez e potencial de neutralização.....	27
4.2.6. Ensaio cinéticos em células úmidas.....	28
4.2.7. Teor de metais EPA.....	29
4.2.9. Solo agrícola e lodo de ETE.....	29
4.3. PRODUÇÃO DE TECNOSSOLOS.....	29
4.4. CRESCIMENTO VEGETAL.....	31
4.5. ENSAIOS.....	32
4.5.1. Amostragem de tecnossolo.....	32
4.5.2. Análise química e física do solo.....	34
4.5.3. Massa seca de <i>Eragrostis tef</i> .....	35
4.5.4. Análise química do tecido vegetal da <i>Eragrostis tef</i> .....	35
4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	36
<b>5. RESULTADOS</b> .....	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	37
5.1.1. Caracterização dos rejeitos de carvão mineral.....	37
5.1.2. Ensaio cinéticos em células úmidas.....	38
5.1.3. Teor de metais EPA.....	41
5.1.4. Solo agrícola e lodo de ETE.....	42

5.2 ANÁLISES DO EXPERIMENTO DE TECNOSSOLOS.....	43
5.2.1. Análise química do solo.....	43
5.2.2. Análise física do solo.....	46
5.2.3. Massa seca de <i>Eragrostis tef</i> .....	46
5.2.4. Análise de Tecido Vegetal da <i>Eragrostis tef</i> .....	48
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>
ANEXO 1 – Análises químicas e físicas do solo.....	56
ANEXO 2 – Análise de tecido vegetal da <i>Eragrostis tef</i> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços tecnológicos relativos a energias renováveis, o carvão mineral ainda desempenha um papel importante como matriz energética ao redor do mundo. Um bom exemplo é a crise hídrica que ocorreu simultaneamente à redação deste trabalho, no ano de 2021, fazendo com o que o Brasil tivesse que recorrer à energia térmica para atender a sua demanda energética. Além disso, o carvão também tem importante papel no setor industrial onde é indispensável na siderurgia e na fabricação de cerâmicas e vidros por exemplo (Borba, 2001).

Moçambique, na África, possui grandes reservas de carvão, sendo a jazida mais conhecida a de Moatize na província de Tete que é considerada uma das maiores jazidas do mundo, com reservas estimadas em torno de 2,5 bilhões de toneladas. Neste local a empresa Vale opera a Mina de Moatize que tem por objetivo produzir cerca de 11 milhões de toneladas anuais de carvão metalúrgico e térmico em um projeto de mineração a céu aberto com duração de 35 anos (José e Sampaio, 2011)

Segundo Weiler (2014), no processo de beneficiamento do carvão mineral aproximadamente 65% do material minerado são resíduos sólidos sem valor comercial e que são descartados. Nesta fração encontram-se os rejeitos grossos, que costumam ser descartados em pilhas de rejeito próximas à mina. O restante são rejeitos finos que são provenientes de processos de beneficiamento que envolvem água e, por isso, costumam ser descartados em bacias de decantação e evaporação.

A quantidade de rejeitos gerada é variável de acordo com o local, técnica de exploração e processamento. Contudo, na maior parte das vezes é gerado um grande volume de material que demanda grandes áreas para sua disposição além de oferecerem risco de contaminação nestes locais. Isso indica um problema que merece atenção e esforços no sentido de reduzir o volume final de rejeitos e/ou encontrar uma utilidade para estes rejeitos de forma que sejam reaproveitados.

Ao final da operação, as áreas degradadas pela mineração de carvão precisam ser recuperadas. No caso de minas à céu aberto, este processo envolve o fechamento das cavas, reconformação topográfica e cobertura com solo fértil para revegetação. No caso

dos depósitos de rejeitos, também é necessária a cobertura com solo e revegetação. Para isso costuma-se utilizar solo proveniente de uma área de empréstimo, gerando um outro passivo ambiental. Neste estudo, será feita a avaliação de uma mistura contendo rejeitos de carvão, como matriz mineral, e lodo de estação de tratamento de esgotos (ETE), rico em matéria orgânica e nutrientes, solo vegetal e vegetação com a gramínea *Eragrostis tef*. O intuito é que esta mistura desempenhe o papel de solo com o intuito de minimizar o volume de rejeitos gerados em uma mina de carvão e, ao mesmo tempo, contribuindo com a demanda de solo a ser tomado de uma área de empréstimo. Tal mistura é conhecida como tecnossolo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar diferentes configurações de tecnossolo contendo rejeitos de carvão mineral da Mina de Moatize, lodo de estação de tratamento de esgoto e solos agrícola com o crescimento vegetal da gramínea *Eragrostis tef*.

### 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar a caracterização tecnológica dos rejeitos grossos e finos da Mina de Moatize com classificação granulométrica, análise imediata, enxofre total e formas de enxofre, análise mineralógica, potencial de geração de acidez, potencial de neutralização, ensaio cinético em células úmidas e teor de metais;
- Caracterizar o lodo de ETE e avaliar sua utilização como fonte de matéria orgânica e nutrientes;
- Analisar as propriedades físico-químicas dos tratamentos de tecnossolo;
- Avaliar o crescimento vegetal e as propriedades da biomassa no cultivo de *Eragrostis tef*.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será mostrada a revisão bibliográfica feita em torno dos assuntos que são pertinentes a este trabalho.

#### 3.1 CARVÃO MINERAL: EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO

De acordo com Laus *et al.* (2006), o carvão mineral é um combustível fóssil sólido que se forma a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Ao longo do tempo geológico, os restos vegetais solidificam-se, perdem oxigênio e hidrogênio e enriquecem-se em carbono. Este processo, conhecido como carbonificação, ocorre em decorrência da pressão e temperatura em ambientes sem contato com oxigênio, em decorrência de soterramento e atividade orogênica. A qualidade do carvão está diretamente ligada ao grau de carbonificação sofrido pela camada vegetal, que aumenta de acordo com a pressão, temperatura e tempo de duração do processo.

Segundo Borba (2001), o carvão pode ser classificado de acordo com o seu grau de carbonificação. Quanto maior o grau, maior também será o *rank* do carvão, por exemplo, que varia na seguinte ordem: turfa, sapropelito, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso e antracito. O carvão também pode ser classificado de acordo com o *grade*, que indica de forma inversamente proporcional o percentual de matéria mineral não combustível (cinzas) da camada carbonífera. Um baixo *grade* significa um alto teor de cinzas e, conseqüentemente, um carvão de menor qualidade.

O carvão desempenha papel fundamental na economia mundial sendo maciçamente empregado na geração de energia e na produção de aço. Na siderurgia utiliza-se o carvão coqueificável, um carvão nobre, de altos *rank* e *grade*. Já no uso energético, é admitido carvão linhito ou superior, sendo uma questão de adaptação dos equipamentos ao carvão disponível (Borba, 2001). A Tabela 1 mostra o ranking das fontes de energia mundial do ano 2018 segundo dados da International Energy Agency (2020). Estes dados mostram toda a energia que é consumida, não apenas para geração de eletricidade, mas também em transporte e processos industriais.

Tabela 1: Fontes de energia mundiais segundo a IEA para o ano de 2018.

<b>Fonte de energia</b>	<b>Participação</b>
<b>Petróleo</b>	31,6 %
<b>Carvão</b>	26,9 %
<b>Gás Natural</b>	22,8 %
<b>Biocombustíveis e resíduos</b>	9,3%
<b>Nuclear</b>	4,9 %
<b>Hidrelétrica</b>	2,5 %
<b>Outros</b>	2,0 %

O processo de lavra do carvão mineral pode ocorrer através de minas subterrâneas ou de minas a céu aberto. Segundo Campos (2010), a mineração subterrânea consiste na abertura de poços, planos inclinados, ou galerias de encosta para extração do minério, transporte de matérias e de pessoal. O método mais empregado é o de câmeras e pilares, que consiste na abertura de um eixo de transporte que é cruzado perpendicularmente por galerias de produção, onde ocorre a lavra. Entre as fases de desenvolvimento são deixados pilares de sustentação. Apesar das minas ficarem no subsolo, os rejeitos costumam ser dispostos em superfície, formando depósitos de rejeito (Weiler, 2014).

Na mineração a céu aberto, a lavra é executada a partir da superfície e é apenas ali que os mineiros trabalham. A mineração sempre inicia no nível mais alto após o decapamento, remoção da camada superficial que permite o acesso inicial ao minério. Daí, a lavra progride descendentemente até o nível mais profundo. A lavra a céu aberto é utilizada quando o minério aflora ou se encontra próximo a superfície ou a profundidades moderadas (Curi, 2017). Segundo Weiler (2014), este método é considerado menos impactante tendo em vista que o rejeito retorna ao seu local de origem na etapa de fechamento da mina.

O carvão mineral é formado por elementos como o carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e enxofre e está muitas vezes associado a outras rochas e minerais. Com isso, é muito difícil se obter o carvão puro e para separar materiais inertes indesejáveis o mesmo passa por um processo de beneficiamento que acaba gerando, além do produto desejado, uma grande quantidade de rejeitos que devem ser dispostos de acordo com a legislação vigente (Weiler, 2014).

De acordo com Kuerten (2017), o beneficiamento do carvão consiste nas operações unitárias utilizadas para reduzir ou remover os contaminantes presentes no carvão. As

operações dependem da qualidade do carvão e da indústria para a qual o mesmo será destinado, tendo em vista que cada mercado consumidor necessita do produto com determinadas características. São utilizados processos gravimétricos, físico-químicos ou químicos de concentração (Rubio, 1988).

Segundo José (2019), os processos mais empregados no beneficiamento de carvão mineral são os gravimétricos, nos quais partículas de diferentes tamanhos, formas e densidades são separadas por gravidade ou força centrífuga. A concentração gravimétrica é uma das formas de beneficiamento de minérios mais antigas de que se tem conhecimento, datando de 4000 a.C.. A densidade das partículas varia de acordo com os minerais presentes na mesma, tendo menor densidade as partículas com maior concentração de matéria carbonosa (Tavares e Sampaio, 2005). O beneficiamento na Mina de Moatize é complexo e envolve processos de concentração em ciclones de meio denso, espirais/elutriadores e flotação.

Moçambique possui diversas jazidas de carvão, sendo uma delas a da Bacia Carbonífera de Moatize, na província de Tete, uma das maiores jazidas de carvão no mundo com reservas estimadas em mais de 2,5 bilhões de toneladas. A jazida em questão é explorada pela Empresa Vala e apresenta um circuito de beneficiamento relativamente complexo, com vários estágios de concentração e classificação, com a utilização de ciclones de meio denso, espirais, elutriadores e flotação. Na Mina de Moatize, a mineração é feita a céu aberto pelo método *strip mining*. (Schneider et al., 2017).

### 3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO

A mineração é uma atividade essencial para atender as demandas por energia e matéria prima, porém produz impactos significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina (Figueiredo 2000). Segundo Macie (2015), a mineração de carvão altera o estado do meio ambiente podendo causar contaminação hídrica, poluição atmosférica, poluição do solo, poluição visual e alteração geomorfológica.

Na fase de prospecção e pesquisa, por exemplo, podem ocorrer alterações na vegetação, na fauna e na paisagem além de serem acelerados processos erosivos com a abertura de trincheiras, poços e estradas para o transporte de equipamentos. Os mesmos impactos podem ser percebidos na fase de extração do minério, além do rebaixamento do lençol freático por meio do bombeamento de grandes volumes de água. Desta forma, as rochas podem sofrer oxidação, um processo que pode ocorrer também nas pilhas de minério e gerar a drenagem ácida de minas (DAM) com efeitos danosos à qualidade das águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos (Figueiredo, 2000).

De acordo com Macie (2015), durante o beneficiamento do carvão podem ocorrer emissões de enxofre (SO<sub>2</sub>), hidrocarbonetos e outras substâncias tóxicas. Além disso, nesta etapa ocorre uma grande geração de rejeitos e sua disposição final exige a ocupação de grandes áreas. Ao final, no fechamento da mina e com a paralisação do bombeamento de água do lençol freático, o mesmo tende a retomar seu nível inicial e pode haver contaminação da água subterrânea por minerais oxidados e geração de substâncias altamente tóxicas e ácidas.

Além disso, também são percebidos impactos sociais. Em Moçambique, a exploração da Bacia de Moatize tem trazido postos de trabalhos e melhorias econômicas na condição de vida das populações locais, porém se alerta que estes benefícios são sentidos apenas por uma pequena parcela mais privilegiada, tendo em vista que os postos de trabalhos são de mão de obra especializada (Chapare, 2020). Mosca e Selamane (2012) destacam que a mineração ocorre em contrapartida de uma grande devastação de terras produtivas da agricultura tradicional e de subsistência ocupadas por uma camada menos favorecida da população.

### 3.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

No Brasil, a Norma ABNT – NBR 13030 dá as diretrizes para projetos de reabilitação de áreas degradadas por atividades de mineração visando a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto (ABNT, 1999). Segundo a norma, no projeto devem constar informações referentes aos itens a seguir:

- Conformação topográfica e paisagística;
- Estabilidade, controle de erosão e drenagem;
- Adequação paisagística;
- Revegetação;
- Monitoramento;
- Cronograma físico;
- Cronograma financeiro.

De acordo com Santos (2017), os locais e recursos afetados pela atividade mineradora devem ser devolvidos a uma condição segura e produtiva por meio da reabilitação, podendo ou não retornar às condições pré-mineração. O processo requer um planejamento adequado e deve ser realizado em paralelo ao processo de exploração da mina bem como após o seu fechamento.

A recuperação da área deve conferir ao local uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo. Sendo assim, uma condição em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da vizinhança (Willians *et al.*, 1990). Para Citadini-Zanete (2008), as atividades de recuperação são sustentáveis quando são compatíveis com os padrões locais de uso dos recursos naturais, estilo de vida local, conhecimento e habilidades locais e com as demandas econômicas do local.

### 3.4 TECNOSSOLOS

De acordo com Kefeliet *al.*(2008), tecnossolos são solos elaborados a partir da mistura balanceada de substratos com quantidades específicas de carbono, nitrogênio, potássio e elementos minerais capazes de suportar o crescimento vegetal. Para Firpo (2015), a proporção dos substratos presentes no tecnossolo é determinada a pelo padrão de qualidade exigido para este que este solo cumpra o seu uso futuro. Existem alguns estudos com solos artificiais utilizados em ambientes urbanos e agrícolas, porém poucos foram realizados envolvendo a recuperação de áreas degradadas (Watkinson, 2014).

Existe ainda a possibilidade da utilização de resíduos na composição de tecnossolos, em especial em atividades de recuperação ambiental. Resíduos orgânicos podem melhorar a porosidade, densidade e agregação dos solos favorecendo o desenvolvimento das raízes, além de agregar fertilidade, reduzir a lixiviação de nutrientes e perdas de água e amenizar efeitos fitotóxicos de contaminantes (Van Ham e Teshima, 2005; Tordoff *et al.*, 2000). De acordo com Firpo (2015), a matriz inorgânica pode ser composta por uma gama de materiais. Podem ser utilizados aluminossilicatos (Kalevitch *et al.*, 2008), escórias, lodos industriais ou cinzas volantes (Good, s/d), óxidos de cálcio (Reynolds *et al.*, 1999) e também rejeitos do beneficiamento de minérios combinados (Darmody *et al.*, 2009; Watkinson, 2014).

Seegundo Weiler (2019) é possível a utilização de rejeitos da mineração de carvão na composição de tecnossolos. Para isso, é necessária a incorporação de aditivos como fonte de nutrientes, matéria orgânica e, quando necessário, a correção da acidez, assim permitindo o desenvolvimento de vegetação e atividade microbiana.

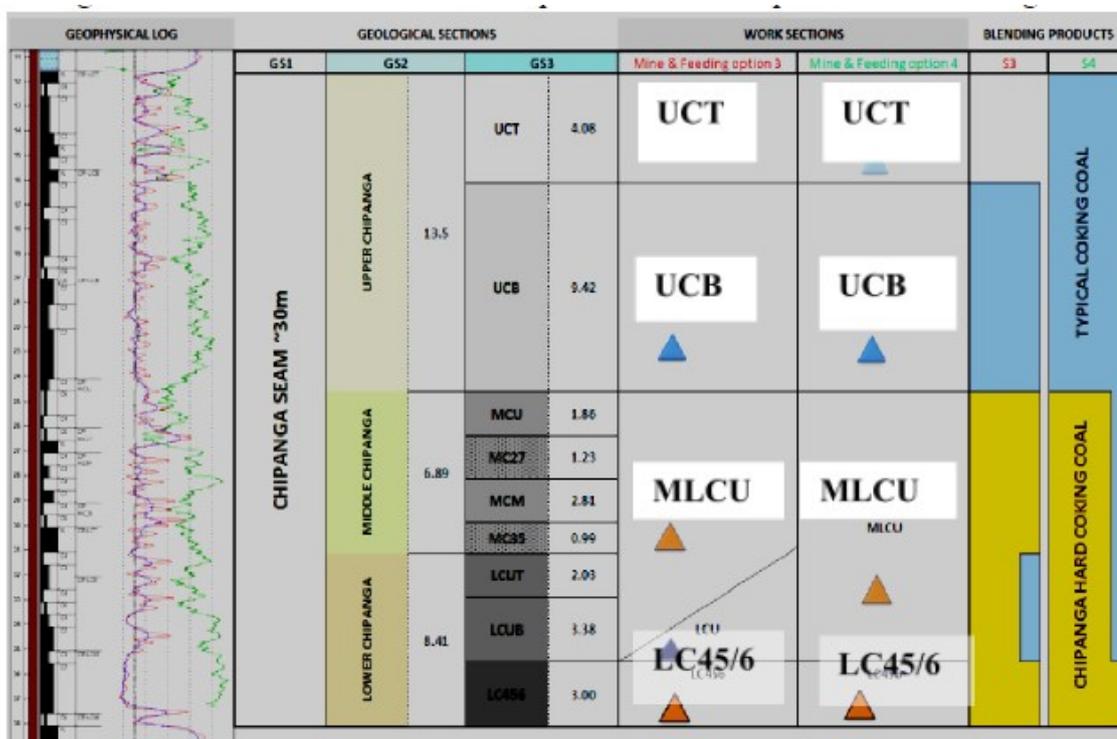
## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia aplicada neste estudo para a caracterização dos materiais constituintes dos tecnossolos e avaliação do mesmo.

### 4.1 AMOSTRAS DE CARVÃO

A amostragem foi realizada na Mina de Moatize no período de janeiro de 2014 a março de 2015. As amostras foram tomadas durante a lavra da Camada Chipanga, que por sua vez é dividida em quatro subcamadas: LC45/6, MLCU, UCB e UCT (Figura 1).

Figura 1 - Subcamadas definidas no plano de lavra do período de amostragem



Fonte: Schneider, 2017.

Em Moçambique, as amostras de carvão mineral foram armazenadas em tambores metálicos, identificadas e analisadas quanto a sua combustibilidade para fins de transporte marítimo. Uma vez verificada a seguridade, foram embarcadas e enviadas à UFRGS, em Porto Alegre/RS, onde chegaram no mês de maio do ano de 2016. Na

UFRGS as amostras foram mantidas junto ao prédio do Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) no Campus do Vale (Figura 2).

Figura 2: Tambores com as amostras armazenados junto ao prédio do LTM.



Fonte: Schneider e equipe, 2017.

Para montagem do experimento de crescimento vegetal, os rejeitos grossos das quatro camadas (UCT, UCB, MLCU e LC45/6) foram misturados em partes iguais, assim como os rejeitos finos, uma vez que sua disposição final é feita conjuntamente na mina. Assim, nos resultados e discussão serão citados apenas “rejeito grosso” e “rejeito fino”.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### 4.2.1 Classificação Granulométrica

Para classificação granulométrica, aproximadamente 5 kg dos rejeitos grossos foram submetidas a peneiramento a seco com corte nas granulometrias de 50mm, 25mm, 9,5mm, 4,0mm, 2,83mm, 1,0mm, 0,50mm, 0,25mm e -0,25mm (fundo). Para a classificação dos rejeitos finos, foram utilizadas amostras de aproximadamente 3,5kg que foram submetidas a peneiramento úmido com corte nas granulometrias 1,00mm, 0,5mm, 0,25mm e -0,25mm (fundo). A Figura 3 apresenta imagens dos ensaios realizados no LTM.

Figura 3: Ensaio de classificação granulométrica.



Fonte: do autor.

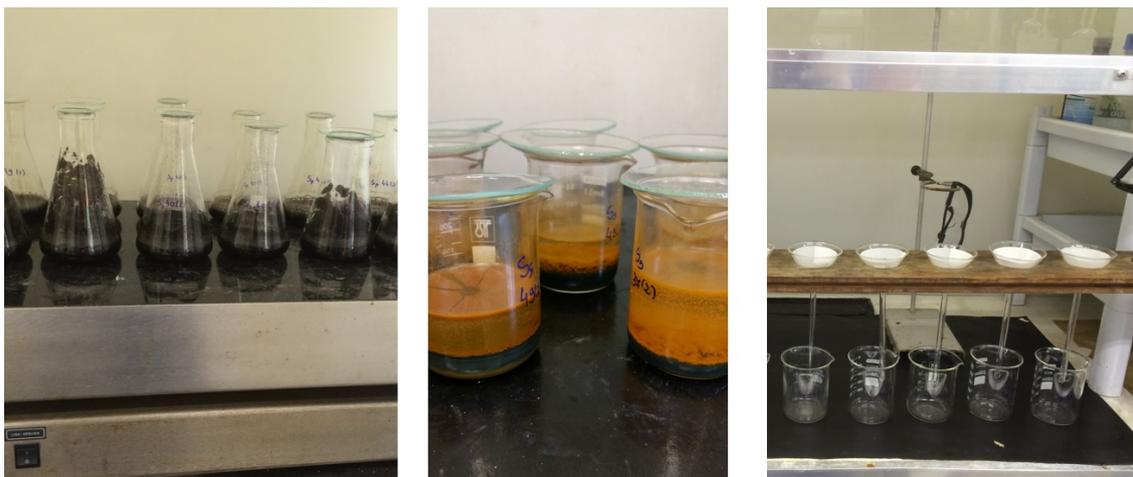
#### 4.2.2 Análise imediata

Os rejeitos ainda foram analisados em relação ao seu teor de cinzas (CZ) conforme o procedimento ASTM-D 3174 (2012) e matéria volátil (MV) através do procedimento ASTM-D 3175 (2012). Para o carbono fixo (CF) foi considerado o restante do material que não se enquadrou nas categorias anteriores. Também foi feita análise de umidade conforme ASTM D 3173 (2011) para que fosse possível converter os resultados de teor de cinzas, matéria volátil e carbono fixo para a base seca.

#### 4.2.3 Enxofre total e formas de enxofre

A presença de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), um dissulfeto de enxofre, nos rejeitos de carvão merece atenção especial, pois é responsável pela geração da drenagem ácida de minas (DAM), um dos maiores impactos relativos a mineração de carvão. Para avaliar este possível impacto foi investigada a presença de enxofre nos rejeitos. O enxofre total foi determinado no equipamento LECO SC 457 no LTM. As formas de enxofre sulfático e pirítico foram determinadas por titulometria (ASTM, 2007). Por fim, o enxofre orgânico foi calculado pela subtração das demais formas de enxofre do enxofre total. A Figura 4 mostra algumas etapas deste ensaio realizadas no LTM.

Figura 4: Ensaio das formas de enxofre no LTM.



Fonte: do autor.

#### 4.2.4 Análise mineralógica

A análise mineralógica foi realizada por difração de raios-x (DRX) com intuito de identificar de forma qualitativa os minerais constituintes nas amostras de rejeito de carvão. A identificação dos minerais pode auxiliar na compreensão dos efluentes e lixiviados que podem ser gerados pelos rejeitos. A presença de pirita, por exemplo, indicaria uma possível geração de DAM.

#### 4.2.5 Potencial de geração de acidez e potencial de neutralização

Através de ensaios cinéticos em células úmidas foi estudado o balanço entre o potencial de geração de acidez e o potencial de neutralização pelo método estático de contabilização de ácidos e bases. O procedimento utilizado foi o ABA Modificado - *Acid Basic Accounting Method* (Sobek *et al.*, 1978). São calculados os potenciais de produção de acidez (AP) e de neutralização (NP) da amostra (EPA, 1994) e, com estes dados é calculado o potencial de neutralização líquido (NNP) segundo a Equação 1. Os valores de AP, NP e NNP são expressos em kg CaCO<sub>3</sub>/t.

$$NNP = NP - AP \quad \text{Equação 1}$$

O potencial de acidez (AP) foi determinado a partir da análise de enxofre pirítico apresentada no Capítulo 3.2.4. De acordo com a estequiometria, é necessário um mol de  $\text{CaCO}_3$  para cada mol de enxofre. Com isso AP é definido pela Equação 2.

$$AP \text{ (kg CaCO}_3\text{t}^{-1}) = (1000/32) \times \% S \quad \text{Equação 2}$$

Para o potencial de neutralização (NP), o procedimento se inicia pela obtenção do volume e normalidade de HCl pelo teste *fizz* (Sobek *et al.*, 1978) seguido por ataque ácido de 24 horas para consumir os minerais neutralizantes. Em seguida é realizada titulação estequiométrica com NaOH até o pH de 8,3. O potencial de neutralização, em  $\text{kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$  é então calculado pelas seguintes equações:

$$C = \text{mL NaOH} / \text{mL HCl} \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Eq. ácido consumido} = (\text{ml ácido adicionado}) - (\text{mL base adicionado}) \times C$$

$$NP = (\text{Eq. ácido consumido} \times 25 \times (N \text{ ácido}))$$

Com estes dados, foi possível calcular o potencia de neutralização líquido (NNP), que foram avaliados segundo os seguintes critérios (EPA 1994):

NNP < -20 : formação de ácido

NNP > +20 : sem formação de ácido

-20 < NNP < +20 : não é possível identificar o potencial

#### 4.2.6 Ensaios cinéticos em células úmidas

Os ensaios cinéticos são uma alternativa para avaliar os rejeitos de mineração quanto à geração de drenagem e efluentes e suas características em termos de acidez, alcalinidade e concentração de componentes orgânicos e inorgânicos (Schneider e equipe, 2017). Este ensaio busca simular as reações naturais que ocorreriam durante a exposição dos rejeitos ao clima em Moçambique e avaliar o efluente gerado ao longo do tempo. O ensaio foi feito em quatro células, duas contendo uma mistura de amostras de rejeitos finos das quatro subcamadas e outras duas contendo uma mistura de rejeitos grossos das quatro subcamadas.

O experimento foi conduzido segundo a norma D 5722 (ASTM 1996), no qual amostras de 1 kg e com granulometria inferior a 6,3mm foram submetidas a ciclos com injeção de ar e água. No primeiro momento, as amostras foram submetidas à lixiviação com 500 mL de água destilada para análise do lixiviado. Em seguida, foi injetado ar seco nas amostras por três dias, seguido por três dias de ar úmido e um dia para nova lixiviação com 500 mL de água destiladas. Este ciclo foi mantido por 20 semanas e o lixiviado foi analisado quanto a seu pH, Eh, acidez, alcalinidade, concentração de sulfatos e metais.

#### 4.2.7 Teor de metais EPA

O método EPA 3050B (US EPA, 1996) foi utilizado para quantificar os metais ambientalmente disponíveis presentes nas amostras de rejeitos finos e grossos. Esta análise possibilita a identificação de diversos metais e suas respectivas concentrações e serve de base para avaliar possíveis impactos relacionados à disposição destes rejeitos.

#### 4.2.8 Solo agrícola e lodo de ETE

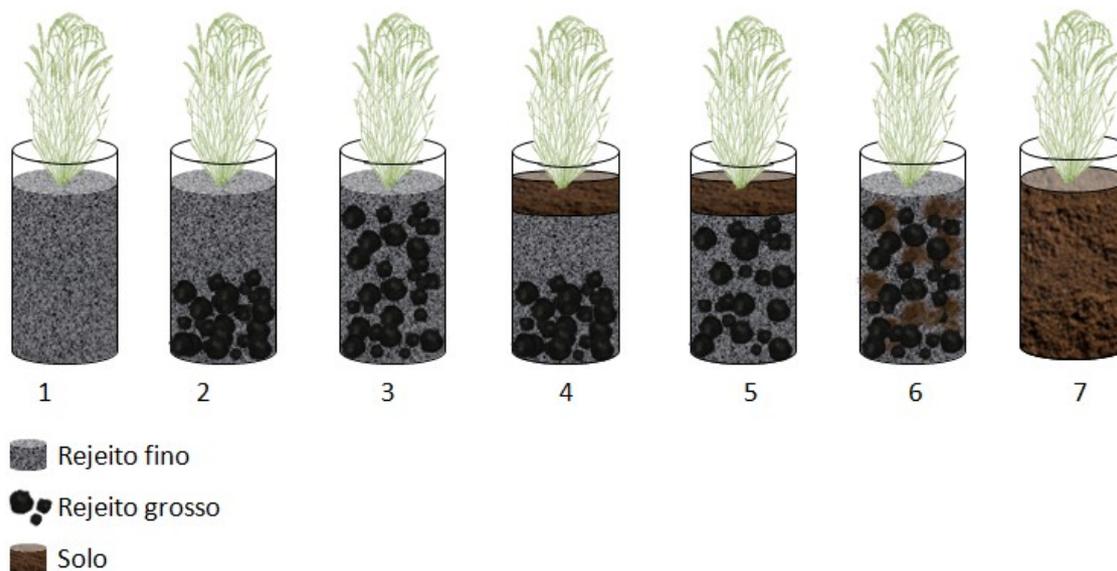
O solo agrícola e o lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) foram analisados quanto ao teor de matéria orgânica (MO) para incorporação aos tecnossolos. Também foram avaliadas as densidades para auxiliar na montagem do mesmo experimento. A massa específica real foi determinada por picnometria e a massa específica aparente foi determinada pelo volume ocupado por determinada massa do material, sem compactação.

### 4.3 PRODUÇÃO DE TECNOSSOLOS

Os tecnossolos foram produzidos com intuito de avaliar a codisposição dos rejeitos finos e grossos da Mina de Moatize com outros materiais. Foi utilizado lodo de ETE, que também é um resíduo gerado em grandes volumes em centros urbanos, para fazer o aporte de matéria orgânica no tecnossolo, além de solo agrícola para vias de comparação. As misturas foram feitas em sete diferentes configurações em triplicata,

como mostrado na Figura 5, totalizando 21 baldes. A Tabela 2 detalha os constituintes de cada um destes tratamentos.

Figura 5: Tratamentos de tecnossolo.



Fonte: do autor.

Tabela 2: Constituintes dos diferentes tratamentos e baldes de tecnossolo.

TRATAMENTO	BALDE	REJEITO FINO	LODO	REJEITO GROSSO	SOLO
1	1	Sim	Sim	Não	Não
	2	Sim	Sim	Não	Não
	3	Sim	Sim	Não	Não
2	4	Sim	Sim	Sim	Não
	5	Sim	Sim	Sim	Não
	6	Sim	Sim	Sim	Não
3	7	Sim	Sim	Sim	Não
	8	Sim	Sim	Sim	Não
	9	Sim	Sim	Sim	Não
4	10	Sim	Sim	Sim	Sim
	11	Sim	Sim	Sim	Sim
	12	Sim	Sim	Sim	Sim
5	13	Sim	Sim	Sim	Sim
	14	Sim	Sim	Sim	Sim
	15	Sim	Sim	Sim	Sim
6	16	Sim	Sim	Sim	Sim
	17	Sim	Sim	Sim	Sim

	18	Sim	Sim	Sim	Sim
	19	Não	Sim	Não	Sim
<b>7</b>	20	Não	Sim	Não	Sim
	21	Não	Sim	Não	Sim

O experimento foi montado em dezembro de 2018 em baldes de PVC com capacidade de 30L nos quais foram acrescentados aproximadamente 20 kg de substrato. Foi utilizado 5% em massa de lodo de ETE em todos os tratamentos, variando as quantidades de rejeitos finos, rejeitos grossos, solo agrícola e suas distribuições no perfil de solo. Os baldes foram dispostos de maneira aleatória no pátio do Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) expostos às condições naturais do ambiente de sol e chuva.

Figura 6: Experimento no pátio do LTM



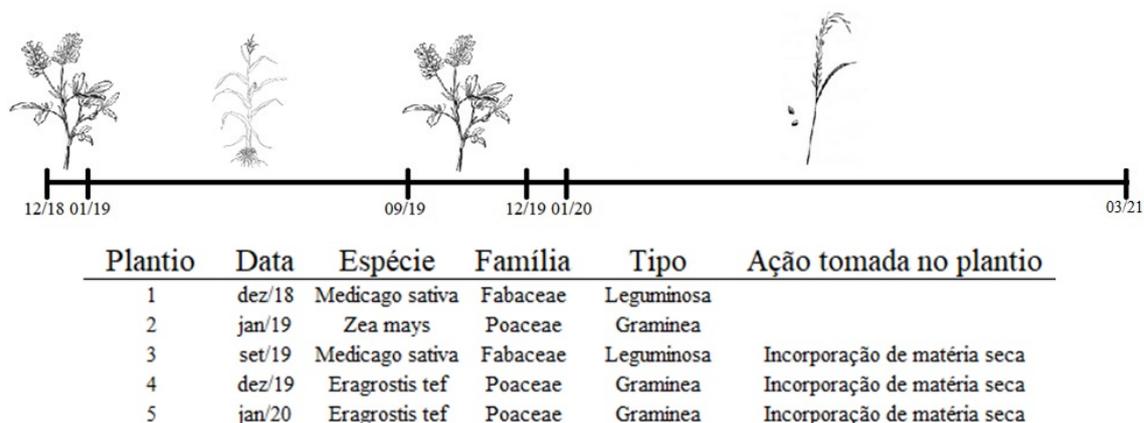
Fonte: do autor.

#### 4.4 CRESCIMENTO VEGETAL

Para avaliar a o desempenho dos tecnossolos, foi desenvolvido um experimento de crescimento vegetal. As espécies foram escolhidas para simular um ambiente de uso agrícola do solo e foram alternadas espécies gramíneas e leguminosas, tendo em vista

que a última tem capacidade de fixar nitrogênio no solo e reduzir o desgaste nutricional do mesmo. O primeiro plantio foi realizado em dezembro de 2018 quando foi plantada a leguminosa *Medicago sativa* (alfafa). Os ciclos vegetais de plantio são apresentados na Figura 7.

Figura 7: Ciclos vegetais do experimento com tecnossolos.



Fonte: Moro, 2020.

A seqüência do experimento se deu em janeiro de 2019 com a substituição da alfafa pela gramínea *Zea mays* (milho), que tem alta capacidade de geração de biomassa e restos culturais que contribuem para a estabilidade do solo. No mês de setembro de 2019 a massa seca do milho foi incorporada ao solo com objetivo de reinserir os nutrientes no solo e foi plantada alfafa novamente. Por fim, em dezembro de 2019 e janeiro de 2020 foi semeado *Eragrostis tef*, uma gramínea nativa da região de Moçambique de estabelecimento rápido e de alto valor nutricional, com intuito de trazer ao estudo um plantio com a mesma origem dos rejeitos de carvão. Este trabalho focará apenas em avaliar o desempenho do último ciclo vegetal.

## 4.5 ENSAIOS

Neste capítulo são descritos os ensaios que foram realizados para avaliar o desempenho de cada um dos tratamentos de tecnossolo em termos de suas características físico-químicas e características relativas à vegetação.

### 4.5.1 Amostragem de tecnossolo

Para que fossem feitas análises químicas e físicas de solo dos tecnossolos, foram coletadas amostras de cada um dos 21 vasos. A amostragem foi feita com amostrador tubular de aproximadamente 3 cm de diâmetro de forma a coletar o material contido em todo o perfil do solo. As Figuras 8, 9 e 10 ilustram o procedimento realizado no LTM no dia 23/02/2021.

Figura 8: Equipamentos utilizados na amostragem de tecnossolos.



Fonte: do autor.

Figura 9: Amostragem de tecnossolos.



Fonte: do autor.

Figura 10: Tecnossolo após amostragem.



Fonte: do autor.

#### 4.5.2 Análise química e física do solo

As análises químicas e físicas de solo dos tecnossolos foram feitas junto ao Laboratório de Análises de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão

Rural de Santa Catarina (Epagri) vinculada à Secretaria da Agricultura e da Pesca do Estado do Governo do Estado de Santa Catarina. Foram analisados nutrientes e micronutrientes, pH, CTC e porcentagem de matéria orgânica segundo a metodologia recomendada por Tedesco et al. (1995).

#### 4.5.3 Massa seca de *Eragrostis tef*.

Ao final ciclo vegetal da *Eragrostis tef*, foi feito o corte da vegetação encontrada acima do nível do solo para fim de comparação entre os as diferentes configurações de tecnossolo. Após o corte, o material foi seco em forno a temperatura de 60 °C até que não apresentassem mais umidade e foram comparadas as massas secas das plantas. A Figura 11 ilustra a etapa do corte.

Figura 11: corte da vegetação.



Fonte: do autor.

#### 4.5.4 Análise química do tecido vegetal da *Eragrostis tef*.

Para análise química do tecido vegetal da cultura, as amostras de tecido vegetal foram enviadas ao Laboratório de Fisiologia e Nutrição Vegetal da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina (Epagri), vinculada à Secretaria do Desenvolvimento Rural e da Agricultura do Governo do Estado de Santa Catarina.

Foram analisadas as concentrações de macro e micronutrientes conforme recomendado por EMBRAPA (Carmo et al, 2000).

#### 4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para determinar às características de cada tratamento de tecnossolo foram considerados os resultados obtidos em triplicata e analisadas as médias e desvio padrão. O tratamento estatístico dos dados foi feito através do software OFFICE EXCEL<sup>®</sup>.

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos materiais empregados no experimento de tecnossolos, sendo estes os rejeitos grossos e finos do carvão da Mina de Moatize, o lodo de ETE e o solo agrícola. Na continuidade, também serão apresentados os resultados relativos aos ensaios físico-químicos de solo, de crescimento vegetal e análise do tecido vegetal da *Eragrostis tef*.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 5.1.1 Caracterização dos rejeitos de carvão mineral

Os principais componentes na composição dos tecnossolos foram os rejeitos de carvão grossos e finos da Mina de Moatize. Os resultados das análises granulométricas, imediata, formas de enxofre, componentes cristalinos e potencial de geração acidez estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização tecnológica dos rejeitos de carvão.

<b>Propriedade</b>	<b>Rejeito Fino</b>	<b>Rejeito Grosso</b>
<b>Faixas Granulométricas</b>		
D <sub>90</sub> (mm)	0,96	58,98
D <sub>50</sub> (mm)	0,60	20,67
D <sub>10</sub> (mm)	0,26	2,28
<b>Análise imediata (b.s.)</b>		
Cinza (%)	58,4	58,9
Matéria volátil (%)	16,6	16,5
Carbono fixo (%)	25,0	24,6
<b>Enxofre</b>		
Pirítico (%)	0,6	0,4
Sulfático (%)	0,2	0,1
Orgânico (%)	0,5	0,4
Total (%)	1,3	0,9
<b>Componentes cristalinos</b>		
Majoritários	Quartzo	Quartzo e alumina
Minoritários	Calcita, hematita e halita	Calcita e hematita

**Potencial de geração de acidez e neutralização**

AP (kg CaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	19,0	14,0
NP (kg CaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	25,3	23,5
NNP (kg CaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	6,3	9,5

Em relação às faixas granulométricas, foi possível observar que quase todo o material dos rejeitos finos se encontra abaixo da granulometria de 1 mm, enquanto os rejeitos grossos abaixo de 60mm. Quanto à análise imediata, foi possível observar que os rejeitos grossos e finos não possuem grandes variações relativas aos parâmetros de cinzas, matéria volátil e carbono fixo, com valores de 58% de cinzas, 17% de matéria volátil e 25% de carbono fixo.

As análises de enxofre, por outro lado, apresentaram diferenças entre as granulometrias. O enxofre total é maior nos rejeitos finos do que nos grosso, apresentando valores de 1,3% e 0,9%, respectivamente. Este padrão também se repete nas formas de enxofre, valendo ressaltar os teores de enxofre pirítico. Os rejeitos finos apresentam teor de 0,6% de enxofre pirítico, contra 0,4% dos rejeitos grossos, assim tendo maior potencial de geração de drenagem ácida.

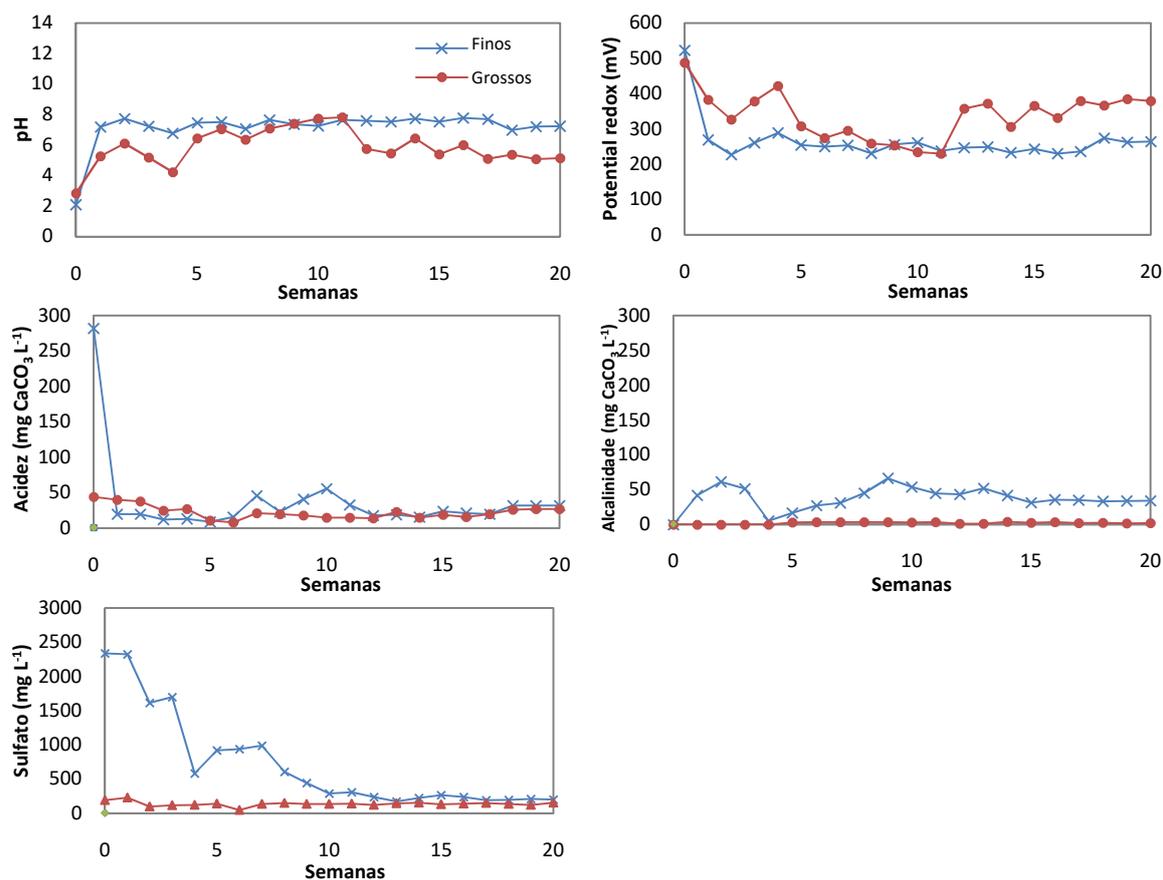
Quanto à análise mineralógica por DRX, fica evidenciado que o mineral quartzo aparece como componente majoritário em todas as amostras. Já entre os componentes minoritários, a calcita, forma cristalina do carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e a hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) aparecem em ambas as amostras. A pirita não foi identificada, possivelmente pela sua baixa concentração, como visto no ensaio das formas de enxofre.

Para os potenciais de acidez e neutralização, os resultados demonstraram que o potencial de geração de acidez (AP) é ligeiramente inferior ao potencial de neutralização (NP), resultando em potenciais líquidos próximo da neutralidade ou levemente alcalino, na faixa em que não é possível avaliar se ocorrerá ou não geração de drenagem ácida de minas ( $-20 < \text{NNP} < +20 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ ). Em tais situações, conforme a literatura (Skousen, 1998), ensaios cinéticos em células são indicados para comprovar a não geração de DAM pelos materiais.

### 5.1.2 Ensaio cinéticos em células úmidas

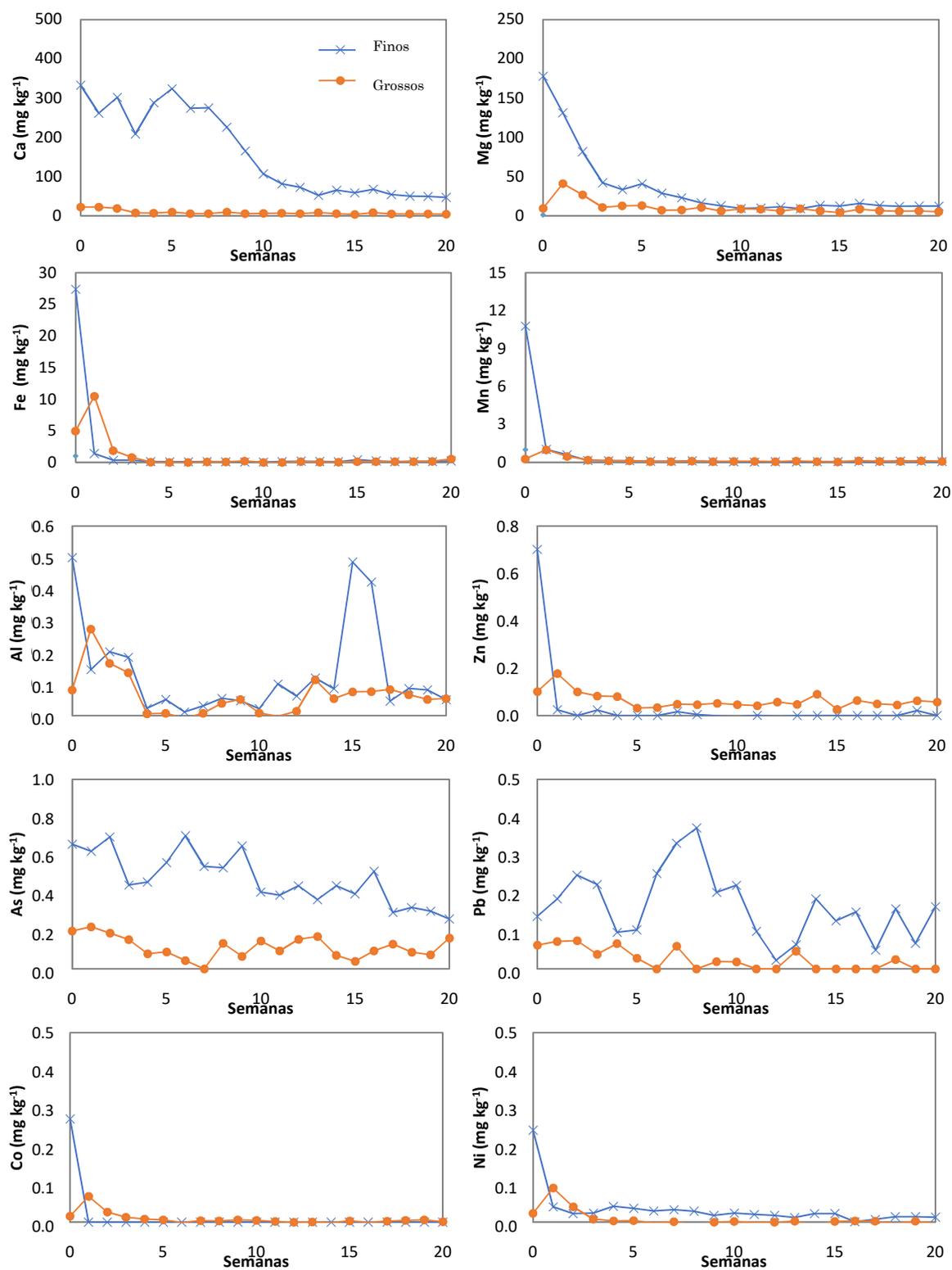
Os resultados de ensaios cinéticos em células úmidas são apresentados na Figura 12. Percebe-se que o pH do lixiviado dos rejeitos finos se manteve próximo a neutralidade durante todo o período, enquanto os rejeitos grossos apresentaram valores um pouco inferiores. Os valores de Eh ficaram entre +200 mV e +500 mV indicando um comportamento predominantemente oxidante. Quanto a alcalinidade, os valores se mantiveram baixos, com uma ligeira superioridade para os rejeitos finos. A concentração de sulfatos no lixiviado dos rejeitos finos iniciou na casa dos 2.300 mg L<sup>-1</sup> e foi decrescendo até décima segunda semana, quando se estabilizou em torno de 200 mg L<sup>-1</sup>. Para os rejeitos grosso, a concentração de sulfatos se manteve estável em torno dos mesmos 200 mg L<sup>-1</sup>.

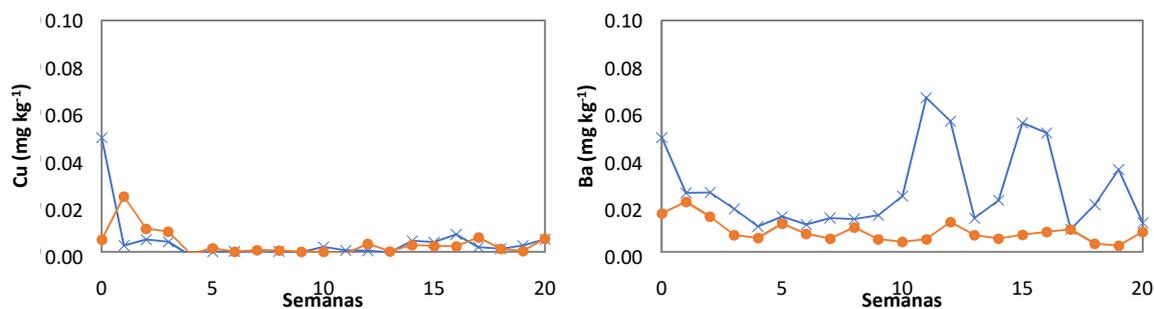
Figura 12: Análises do lixiviado em função do tempo no ensaio em células úmidas para os rejeitos finos e grossos em relação pH, Eh, acidez, alcalinidade e concentração de sulfatos.



Fonte: Schneider e equipe, 2017.

Figura 13: Concentração de metais ao longo do ensaio com células úmidas.





Fonte: Schneider e equipe (2017).

A concentração de metais no lixiviado dos rejeitos finos e grossos ao longo das 20 semanas é apresentada na Figura 13. Os elementos com maior concentração no período foram Ca e Mg, evidenciando a presença de carbonatos como o  $\text{CaCO}_3$ . Quanto aos outros metais, não há indicação de liberação de quantidades significativas de algum metal tóxico dentre os elementos que foram analisados neste experimento.

### 5.1.3 Teor de metais EPA

Os resultados obtidos para teores de metais ambientalmente disponíveis nos rejeitos de carvão segundo o método EPA 3050B (US EPA, 1996) são apresentados na Tabela 4. Para vias de comparação, foram utilizados valores de prevenção da Resolução Conama 420/2009 (Brasil, 2009).

Tabela 4: Metais ambientalmente disponíveis nos rejeitos de carvão.

Elemento	Unidade	Finos	Grossos	Total	CONAMA 420
Al	% m/m	3,7	4,3	4,02	-
Ar	mg kg <sup>-1</sup>	< 2	< 2	< 2	15
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,3
Pb	mg kg <sup>-1</sup>	22,1	24,6	23,38	72
Co	mg kg <sup>-1</sup>	10,0	8,1	9,06	25
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	30,0	38,9	34,44	60
Cr	mg kg <sup>-1</sup>	37,3	38,5	37,88	75
Fe	% m/m	2,4	2,1	2,25	-
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	346,8	322,6	334,69	-
Mo	mg kg <sup>-1</sup>	< 0,2	< 0,2	< 0,2	30
Ni	mg kg <sup>-1</sup>	16,4	15,4	15,88	30
Se	mg kg <sup>-1</sup>	< 4	< 4	< 4	5

<b>Va</b>	mg kg <sup>-1</sup>	40,1	36,4	38,25	-
<b>Zn</b>	mg kg <sup>-1</sup>	61,6	65,4	63,50	300
<b>Ba</b>	mg kg <sup>-1</sup>	225,0	226,1	225,56	150
<b>Na</b>	mg kg <sup>-1</sup>	338,8	400,8	369,75	-
<b>Ca</b>	% m/m	1,4	0,9	1,15	-
<b>K</b>	% m/m	0,5	0,5	0,48	-

Em termos percentuais, os metais presentes em maior quantidade são Na, Ca e Mn, tanto para os rejeitos finos quanto para os rejeitos grossos. O Ba apresentava valores superiores a 150 mg kg<sup>-1</sup>, que é o valor de prevenção listado na Resolução Conama 420/2009 (Brasil, 2009), que 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. Todavia, os valores ainda são inferiores aos estabelecidos para investigação para uso agrícola, residencial e industrial.

As propriedades dos materiais analisados, que incluem a sua origem em um depósito sedimentar, a granulometria da fração fina, com 96,6% da massa na faixa de areia e 3,4% na faixa de silte (Moro, 2020), o relativo baixo teor de enxofre, e um balanço ácido-base levemente alcalino sem indicação de geração de DAM, bem como a ausência de liberação de metais tóxicos, indicam o potencial de uso do material como tecnossolo.

#### 5.1.4 Massa específica e matéria orgânica do solo agrícola e lodo de ETE

Os resultados de massa específica, real como aparente, do solo agrícola e do lodo de ETE estão dispostos na Tabela 5. Os valores estão apresentados de forma comparativa com os obtidos com o rejeito fino e rejeito grosso.

Tabela 5: Teores de matéria orgânica e densidade dos materiais.

<b>Material</b>	<b>MO (%)</b>	<b>Massa específica real (g cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Massa específica aparente (g cm<sup>-3</sup>)</b>
<b>Solo</b>	3,33	1,55	1,05
<b>Lodo</b>	52,5	-	0,90
<b>Rej. Fino</b>	-	1,79	1,09

Pode-se observar que a massa específica aparente do rejeito grosso e do rejeito fino são semelhantes com a massa específica do solo agrícola, em torno de  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ . O lodo seco apresenta uma massa específica aparente um pouco mais baixa, em torno de  $0,90 \text{ g cm}^{-3}$ . Como todas as amostras receberam a mesma quantidade de lodo seco, todos os vasos ficaram com massa específica semelhante, na faixa de 1,0 a  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ , um valor considerado adequado para o desenvolvimento vegetal de acordo com Reinert et al (2008).

## 5.2 ANÁLISES DO EXPERIMENTO DE TECNOSSOLOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos no experimento de crescimento vegetal em cada uma das configurações de tecnossolo.

### 5.2.1 Análise química do solo

A análise química dos substratos empregados (tecnossolos) foi feita junto ao Laboratório de Análises de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) vinculada à Secretaria da Agricultura e da Pesca do Estado do Governo do Estado de Santa Catarina. Na Tabela 6 são apresentados os resultados médios obtidos para cada um dos diferentes tratamentos. O laudo completo é exibido no Anexo 1 deste trabalho.

Tabela 6: Análise química dos tratamentos de tecnossolo.

Tratamen to	pH	P	K	% M.O.	Al	Ca	Mg	CTC
	01:0 1	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	m/v	cmole dm <sup>-3</sup>	cmole dm <sup>-3</sup>	cmole dm <sup>-3</sup>	cmole dm <sup>-3</sup>
1	6,1	145,8	17,2	3,5	0,0	3,1	2,7	7,24
2	6,0	136,1	22,6	3,5	0,0	3,2	2,1	6,96
3	6,0	76,0	17,2	3,5	0,0	1,5	1,7	5,56
4	5,9	113,9	33,4	3,2	0,0	4,3	1,7	8,59
5	6,4	98,8	71,1	3,2	0,1	10,7	2,4	15,32
6	5,7	94,5	43,1	4,1	0,0	3,9	2,7	8,69

7	6,5	71,9	303,6	2,0	0,0	11,1	2,8	16,45
---	-----	------	-------	-----	-----	------	-----	-------

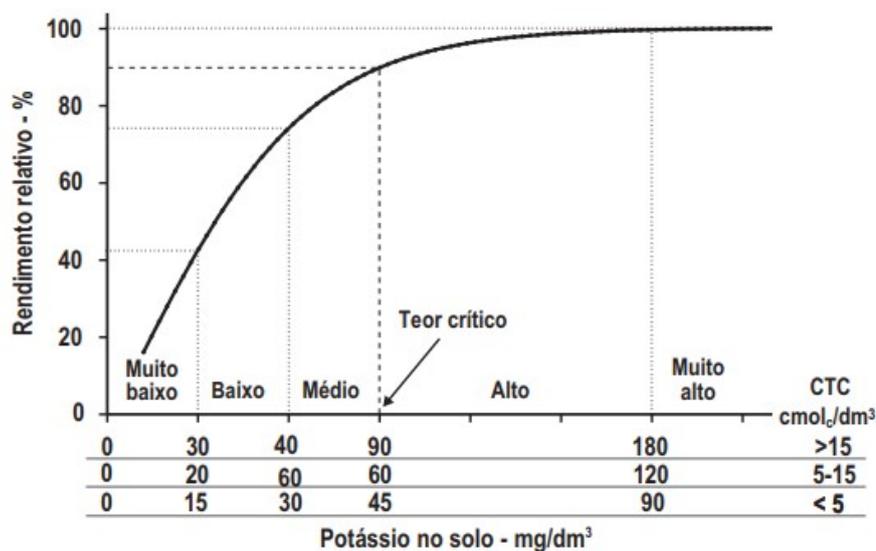
---

Segundo SBCS (2004), o pH ideal deve estar na faixa entre 6,0 e 6,5 para que ocorra melhor absorção dos nutrientes pela planta para a maioria das culturas comerciais. Dentre os tratamentos, apenas os de números 4 e 6 ficaram fora desta faixa. Já Wietholter (2000) considera a faixa de 5,5 a 6,0 como sendo a ideal e, neste caso, os Tratamentos 1, 5 e 7 estariam levemente acima. Contudo, em vias gerais, o pH dos tratamentos está em torno dos valores aceitos na literatura.

Para avaliar o fósforo foram levados em consideração os valores de referência de SBCS (2004), que indica que valores acima de  $42 \text{ mg dm}^{-3}$  são considerados valores altos e que garantem o rendimento necessário para vegetação. Todos os tratamentos superaram os valores de referência. O tratamento com menor teor deste nutriente (Tratamento 7) superou em 71% o valor de referência, enquanto o maior teor encontrado (Tratamento 1) superou em 3,45 vezes o mesmo valor.

No caso do potássio, a SBCS (2004) classifica os teores de acordo com CTC do solo, que no caso fica na faixa de 5-15  $\text{cmolc dm}^{-3}$ . Os valores de referência podem ser observados na Figura 14. Percebe-se que o Tratamento 1 possui teor de potássio muito baixo, enquanto os Tratamentos 2, 3, 4 e 6 são classificados como baixos. Por fim, o Tratamento 5 possui teor médio enquanto o número 7, que era o solo agrícola empregado como referência, muito alto. De forma geral, os tratamentos de tecnossolos com rejeitos de carvão possuem deficiência de potássio.

Figura 14: Relação entre o rendimento relativo de culturas e o teor de potássio no solo extraído pela solução de Mehlich-1.



Fonte: SCBS (2004).

Os teores de matéria orgânica (M.O.) e CTC também foram avaliados segundo SCBS (2004). Valores de M.O. na faixa de 2,6 – 5,0 são considerados médios, que foi o caso de todos os tratamentos, com exceção do Tratamento 7 que foi o solo agrícola usado como controle, mostrando que a adubação com lodo de ETE foi eficiente. Valores de CTC na faixa de 5,1 – 15,0 também são considerados médios e é o caso de todos os tratamentos exceto o de controle.

Os valores de Ca e Mg foram avaliados segundo valores de referência de SCBS (2004). No geral, os teores de cálcio ficaram na faixa de valores considerados médios com exceção dos Tratamentos 3, 5 e 7 que são classificados com baixo, alto e alto, respectivamente. Em relação ao Magnésio, todos os tratamentos tiveram teores altos, ou seja acima de  $1,0 \text{ cmol dm}^{-3}$ . Os teores de alumínio foram nulos em quase todos os tratamentos.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para concentração de micronutrientes do solo. Foram avaliadas as concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe. De acordo com os valores de referência sugeridos por SCBS (2004), os valores são considerados altos para todos os micronutrientes, oferecendo as condições necessárias para o desenvolvimento de vegetação.

Tabela 7: Concentração de micronutrientes no solo.

Tratamento	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
1	9,50	25,60	4,60	> 5,0
2	10,80	26,00	5,10	> 5,0
3	11,20	25,60	3,70	> 5,0
4	7,30	23,70	6,00	> 5,0
5	5,90	24,10	16,30	> 5,0
6	7,50	23,80	15,90	> 5,0
7	3,40	23,90	23,40	> 5,0

### 5.2.2 Análise física do solo

A análise física de solo dos tecnossolos foi feita junto ao Laboratório de Análises de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) vinculada à Secretaria da Agricultura e da Pesca do Estado do Governo do Estado de Santa Catarina. Os resultados estão apresentados na Tabela 8. A classificação se deu em termos da granulometria das partículas de solo.

Tabela 8: Análise física de solo dos diferentes tratamentos de tecnossolo.

Tratamento	Granulometria (%)		
	Argila	Areia	Silte
1	0,0	93,4	6,6
2	0,0	89,5	10,5
3	0,0	89,2	10,8
4	10,5	76,4	13,1
5	15,8	61,3	22,9
6	9,8	74,4	15,8
7	25,1	39,1	35,8

Percebe-se que teores de argila só aparecem do Tratamento 4 em diante, pois são estes os que receberam solo agrícola na mistura. Isso ocorre porque, por menor que seja a granulometria dos rejeitos finos, ela ainda não é menor do que a classificação das argilas.

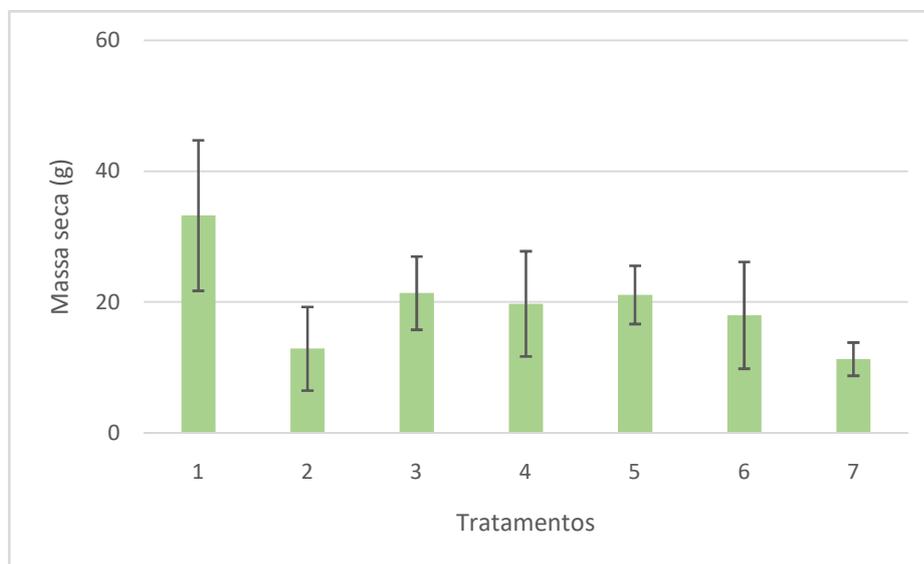
### 5.2.3 Massa seca de *Eragrostis tef*.

Para comparar o crescimento vegetal entre os tratamentos de tecnossolo foi feito um experimento de crescimento vegetal utilizando a gramínea nativa da região de Moçambique *Eragrostis tef*. Ao final do período de um ano e três meses após o plantio a vegetação foi cortada e sua massa seca medida. Os resultados podem ser observados na Tabela 9, a Figura 15 apresenta um gráfico comparando a o crescimento médio em cada um dos tratamentos.

Tabela 9: Massa seca de *Eragrostis tef*. para cada tratamento de tecnossolo.

<b>Tratamento</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>DP</b>
<b>1</b>	33,24	11,51
<b>2</b>	12,87	6,39
<b>3</b>	21,38	5,61
<b>4</b>	19,74	8,05
<b>5</b>	21,11	4,46
<b>6</b>	17,98	8,17
<b>7</b>	11,29	2,54

Figura 15: Gráfico de massa seca de *Eragrostis tef*. para cada tratamento de tecnossolo.



Fonte: Do autor.

O melhor resultado em termos de crescimento médio de vegetação ocorreu no Tratamento 1 que é aquele que possui apenas rejeitos finos e lodo de ETE. Os outros tratamentos apresentaram resultados médios semelhantes, porém com alto desvio padrão, dificultando uma análise mais conclusiva neste quesito. A Figura 16 demonstra o crescimento vegetal para um exemplar de cada tratamento de tecnossolo.

Figura 16: Crescimento vegetal em cada tratamento de tecnossolo.



Fonte: do autor.

#### 5.2.4 Análise de Tecido Vegetal da *Eragrostis tef*.

Os resultados da análise de tecido vegetal da vegetação da *Eragrostis tef*. Para cada um dos tratamentos de tecnossolo são descritos na Tabela 10. Para fins de comparação, foram utilizados dados referentes a gramíneas de Camargo (1996). O laudo completo é exibido no Anexo 2 deste trabalho.

Tabela 10: Resultados da análise de tecido vegetal da *Eragrostis tef*.

Tratamento	Macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> )					Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	B
1	21	3,8	8,2	8,6	3,2	174,4	169	9,6	0,7
2	20,3	4,2	10,2	6,6	3,0	149,5	239,7	8,7	0,5
3	17,5	3,6	10,8	7,9	3,8	116,1	249,5	6,4	0,9
4	18,2	4,5	12,2	9,3	2,7	131	117,7	5,5	0,9
5	21	4,1	13,6	7,8	2,6	121,6	154,5	5,3	0,6

6	25,9	5,1	14,6	9,8	3,2	89,1	106,1	4,0	3,2
7	25,2	6,6	22,8	8,9	1,6	134,9	69,2	4,5	8,2
<b>Padrão</b>	12 - 26	1 - 3	12 - 30	2 - 8	1,5 - 5	50 - 250	20 - 300	4 - 20	5 - 30

A concentração de nitrogênio no tecido vegetal de todos os tratamentos está dentro da faixa padrão estabelecida por Camargo (1996) para gramíneas, na faixa de 12 – 26 g kg<sup>-1</sup>. Entre os tratamentos, a concentração foi levemente maior nos dois últimos, sendo o Tratamento 6 aquele que possui solo agrícola misturado em todo o perfil de solo e o Tratamento 7 o de controle.

No caso do fósforo, todos os tratamentos apresentaram valores acima da faixa ótima estabelecida por Camargo (1996) de 1 – 3 g kg<sup>-1</sup>. Considerando que foi utilizado lodo de ETE em todos os tratamentos, um aditivo com um alto teor de matéria orgânica, o resultado não surpreende e repete o comportamento observado por Firpo (2015).

Os teores de potássio ficaram abaixo da faixa padrão de Camargo (1996) nos três primeiros tratamentos, sendo que estes três justamente são os que não possuem solo agrícola na mistura. Houve incremento na concentração de K para todos os outros tratamentos, atingindo o maior valor no Tratamento 7, que corresponde ao tratamento controle constituído apenas de solo agrícola e lodo. Com isso, pode-se dizer que neste experimento os teores de potássio estão relacionados à presença de solo agrícola.

Os valores de cálcio ficaram próximos ao limite superior da faixa de valores padrão para gramíneas, sendo que os Tratamentos 1, 4, 6 e 7 ficaram inclusive acima da média. Em relação ao magnésio, todos os valores ficaram dentro da faixa padrão. Destes, o valor de Mg no tratamento de controle foi o que apresentou o menor valor, porém ainda dentro da faixa aceitável.

Quanto aos micronutrientes, todas as concentrações ficaram dentro da faixa padrão, com exceção do boro. Em relação ao manganês, percebe-se uma queda acentuada de concentração quando se compara os tecnossolos com o controle, indicando que os rejeitos de carvão entregam boas concentrações deste nutriente. Já para o boro, é possível notar um aumento da concentração deste nutriente no Tratamento 6, que possui uma mistura de solo agrícola em todo o perfil, e no tratamento de controle.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Iniciando pela análise e caracterização dos rejeitos, percebe-se que os mesmos apresentam adequados valores de pH, acidez e alcalinidade o que levam a crer que sua utilização em tecnossolos pode acontecer sem que haja necessidade de correções, o que se mostrou verdadeiro após o experimento. O material apresenta baixos teores de enxofre pirítico, que costuma ser um problema em rejeitos de carvão e não apresentou concentrações expressivas de metais tóxicos nos ensaios cinéticos. A partir disso, pode-se concluir que os rejeitos de carvão da Camada Chipanga da Mina de Moatize tem potencial para serem utilizados em tecnossolos desde que acrescidos de matéria orgânica e nutrientes.

Em relação aos tratamentos de tecnossolos, pode-se perceber que as misturas empregadas tiveram desempenho satisfatório apresentando bons níveis de nutrientes e altos níveis de micronutrientes. A exceção foi o potássio, que foi encontrado em níveis baixos e poderia ser incorporado à mistura via adubação para que fossem obtidos resultados melhores. O lodo de ETE se mostrou como uma boa fonte de matéria orgânica e nutrientes.

Vale ressaltar que os tratamentos contendo rejeitos grossos de carvão obtiveram um desempenho pior no ensaio de crescimento vegetal, provavelmente pelo fato de que os mesmos possam dificultar o desenvolvimento das raízes. Os baldes utilizados tinham pouca profundidade e a presença dos rejeitos grossos nessa região pode ter causado tal problema.

Quanto a análise do tecido vegetal da *Eragrostis tef.*, os resultados obtidos em termos de macronutrientes foram satisfatórios com exceção do potássio que, novamente ficou abaixo em alguns tratamentos. Para os micronutrientes os valores também foram bons, exceto para o boro que teve valores próximos a zero. Vale ressaltar que nos tratamentos que não continham solo agrícola houve maior concentração de manganês, o que leva a entender que o mesmo estava mais disponível nos tratamentos que continham rejeitos de carvão.

Assim, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que os rejeitos da Camada Chipanga da Mina de Moatize somados ao lodo de ETE e ao solo agrícola tiveram bom desempenho como tecnossolos para o cultivo de *Eragrostis tef*.

O estudo mostrou uma deficiência de potássio em configurações de tecnossolo contendo os rejeitos de carvão mineral da Mina de Moatize e lodo de ETE. Portanto a adubação com este nutriente se mostra essencial para os próximos experimentos. Como sugestão para estudos futuros, experimentos com tecnossolos empregando rejeitos de carvão podem ser feitos em maior escala, tanto espacial quanto temporal, para que se possa entender melhor seu desempenho em diferentes configurações e avaliar seu uso como solo de cobertura de minas a céu aberto. Além disso, seria interessante medir a presença de outros metais e outros componentes tóxicos nas análises de tecido vegetal.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1999. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. NBR 13030:1999.

ASTM - American Society for Testing and Material. ASTM D 2492: Standard Test Method for Forms of Sulfur in Coal, USA.

ASTM - American Society for Testing and Material. ASTM D 3173: Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

ASTM - American Society for Testing and Material. ASTM D 3174: Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM - American Society for Testing and Material. ASTM D 3175: Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM - American Society for Testing and Material. ASTM D 5744: Standard test method for accelerated weathering of solid materials using a modified humidity cell. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007a.

BORBA, Roberto Ferrari. Carvão mineral. Balanço mineral brasileiro, 2001, 1: 1-19.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução no420, 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 República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

CAMARGO, C.E.O.; FREITAS, J.G.; CANTARELLA, H. Em: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. (Ed.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996.

CAMPOS, Mari Lucia, et al. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. Revista de Ciências Agroveterinárias, 2010, 9.2: 198-205.

CARMO, C.A.F.S.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.C.; SLADANHA, M.F. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. EMBRAPA Solos, 2000. 41 p. Circular técnica, 6.

CHAPARE, Trindade Filipe; LUMMERTZ, Thierry Betazzi; FISCHER, Marta Luciane. Impactos ambientais, objetivos do desenvolvimento sustentável e bioética ambiental: A exploração do carvão mineral no distrito de Moatize, Moçambique. Revista Iberoamericana de Bioética, 2020, 14: 01-11.

CITADINI-ZANETE, V. Recuperação de áreas mineradas com espécies fontes de produtos florestais não-madeiráveis: oportunidades socioeconômicas e ambientais para a região carbonífera, sul de Santa Catarina, Brasil. 2008. In: In: Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente/Eds. Paulo Sergio Moreira Soares, Maria Dionísia Costa dos Santos, Mario Valente Possa. CDD – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

CURI, Adilson. Lavra de minas. Oficina de Textos, 2017.

DARMONDY, R.G.; DANIELS, W.L; MARLIN, J.C.; CREMEENS, D.L. Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches. In NATIONAL MEETING OF AMERICAN SOCIETY OF MINING AND RECLAMATION, 2009, Billings.Proceedings ...Lexington: ASMR, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, Balanço Mineral Brasileiro 2001, Luís Paulo de Oliveira Araújo, Roberto Ferrari Borba. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001>> Acesso em: 23 ago. 2021.

FARIAS, Eduardo Justi de. Análise da viabilidade da redução dos impactos ambientais na mineração do carvão mineral por meio da aplicação do backfill. Engenharia de Produção-Pedra Branca, 2019.

FIGUEIREDO, B. F., Minérios e Ambiente. Editora Unicamp, Campinas, São Paulo, 2000, 401p.

FIRPO, B. A. Produção de solo a partir de rejeito de carvão mineral. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, 2015.

GOOD, J. The Restoration and Revegetation of Degraded Land Including Quarry Waste: a Review. Center of Ecology and Hydrology Universtiy of Wales (s/d).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key world energy statistics 2020.Paris: International Energy Agency, 2020.

JOSÉ, D. S. Estudo de liberação de Carvão Mineral de Candiota, visando o seu beneficiamento. Dissertação de Mestrado acadêmico - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre. Brasil, 2011.

JOSÉ, David Selemane. Caracterização tecnologica de carvão ROM da Mina de Moatize-Moçambique para o destoning, visando seu beneficiamento. 2019.

JOSÉ, D.S.; SAMPAIO, C.H.; Estado da arte da mineração em Moçambique: Caso de carvões de Moatize, Tete. In: III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. 2011, Gramado, Brasil, III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011.v. A9. P. 1-20.

KALEVITCH, M.K.; KEFELI, V.; DUNN, M.D. Bacterial and mineral content of fabricated soil (FS).Canadian Journal of Pure & Applied Sciences. V. 2, n.3, p. 275-482, 2008.

KEFELI, V.; LEININGER, C.; MASTALSKI, S.; PINCIN, K. Characteristics of fabricated soil for landscape rehabilitation: The four crop test for biological activity. *Advances in Molecular Biology*, n.2, p.79-85, 2008.

KUERTEN, Ariane Salvador. Pré-concentração de carvão mineral da Mina de Moatize com tecnologia Sensor Based Sorting - SBS. 2017.

LAUS, Rogério, et al. Microesferas de quitosana reticuladas com tripolifosfato utilizadas para remoção da acidez, ferro (III) e manganês (II) de águas contaminadas pela mineração de carvão. *Química Nova*, 2006, 29.1: 34-39.

MACIE, Aniceto Elcídio Alves. Mineração de carvão na bacia carbonífera de Moatize, província de Tete-Noroeste de Moçambique: uma análise socioambiental. 2015. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

MORO, Daniel Campos. O Benefício da Vegetação no Controle da Erosão em Áreas de Disposição de Rejeitos de Carvão Mineral. 2020.

MOSCA, João; SELEMANE, Tomás. Mega-projectos no meio rural, desenvolvimento do território e pobreza: o caso de Tete. *Desafios para Moçambique*, 2012, 2012: 231-255.

REINERT, Dalvan José, et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, 32: 1805-1816.

REINOLDS, K.; KRUGER, R.; RETHMAN, N. The manufacture and evaluation of an artificial soil (SLASH) prepared from fly ash and sewage sludge. In: *INTERNATIONAL ASH UTILIZATION SYMPOSIUM*, 3., 1999, Lexington. Proceedings ... Lexington University Of Kentucky, 1999.

RUBIO, J. Carvão Mineral Caracterização e Beneficiamento. Volume 1, Nova Linha Artes Gráficas, Porto Alegre, p. 53 a 60, 1988.

SANTOS, Jorge Antônio Gonzaga. Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração. 2017.

Schneider, Ivo André Homrich; Sampaio, Carlos Hoffmann; Brum, Irineu Antônio Schadach; Rubio, Jorge. Caracterização tecnológica do carvão e da planta de beneficiamento da mina de Moatize – Moçambique / Ivo André Homrich Schneider (org) – Porto Alegre: UFRGS, novembro, 2017.

SKOUSEN, Jeffrey, et al. Handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage. National Mine Land Reclamation Center, Morgantown, 1998, 131.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS. Manual de adubação e 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.

SOBEK, A.A.; SCHULLER, W.A.; FREEMAN, J.R. & SMITH, R.M. Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils. Washington, DC, 1978. EPA-60012-78-034.

TAVARES, L.M.M. e SAMPAIO, C.H. Beneficiamento Gravimétrico. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 601p., 2005.

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

TORDOFF, G.M.; BAKER, A.J.M. & WILLIS, A.J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, c.41, p.219-228, 2000.

TORREZANI, Nelissa Camargo; OLIVEIRA, E. F. Problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão mineral e a aplicação da Ecotoxicologia aquática como ferramenta de biomonitoramento. *Oecologia Australis*, 2013, 17.4: 509-521.

US EPA - United State Environmental Protection Agency. Method EPA 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils.

VAN HAM, M.; TESHIMA, M. Residuals reuse in aggregate mine reclamation: A decade of BC experience. In: ANNUAL BRITISH COLUMBIA MINE RECLAMATION SYMPOSIUM, 29., 2005, Proceedings... Abbotsford: TRCR, 2005)

WATKINSON, A.L.D. Developing Manufactured Soils for Reclamation of Mined Land in the Boreal Forest Ecosystem. 2014. 165 f. Mestrado (Master of Science in Biology) – Laurentian University. Sudbury, 2014.

WEILER, Jessica. Tecnologias mais limpas na mineração de carvão: minimização da geração da drenagem ácida de minas pelo método de isolamento de sulfetos. 2014.

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I. A. H. Áreas Degradadas: O uso de tecnossolos na recuperação. *SANEAMENTO AMBIENTAL*, v. 191, p. 23-29, 2019.

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

WILLIAMS, D. D. et al. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: MINTER/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. 1990. 96p

## **ANEXO 1 – Análises químicas e físicas do solo**



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



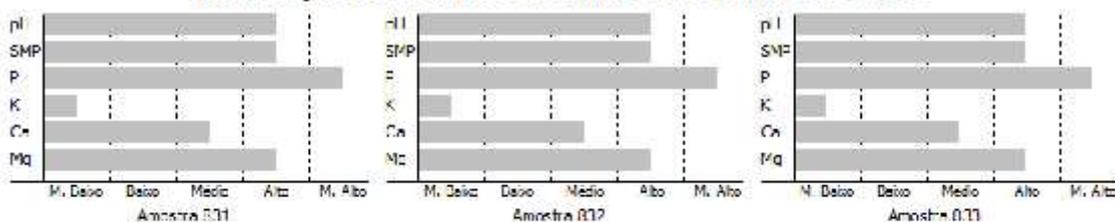
#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRE HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34  
Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES  
Município...: PORTO ALEGRE - RS  
Remetente...: JESSICA WEILER  
Município...: PORTO ALEGRE - RS  
Matrícula...:  
Data Entrada: 10/03/2021  
Data Análise: 16/03/2021  
Data 2ª via: 31/03/2021  
Análise...: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
831	01	-	28	6,1	6,9	141,9	19,4	4,6	0,0	3,3	3,1
832	02	-	35	6,0	7,0	150,8	16,1	3,0	0,0	3,0	2,6
833	03	-	33	6,2	7,1	144,8	16,1	2,9	0,0	2,9	2,5

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
831	01	1,55	7,96	0,00	80,47	0,62	40,90	38,94	1,05	65,62	62,48
832	02	1,45	7,09	0,00	79,58	0,58	42,32	36,67	1,15	72,87	63,14
833	03	1,23	6,67	0,00	81,58	0,62	43,48	37,48	1,16	70,43	60,71

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ABA16243-4CAF-4C38-8C75-E05511381700  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

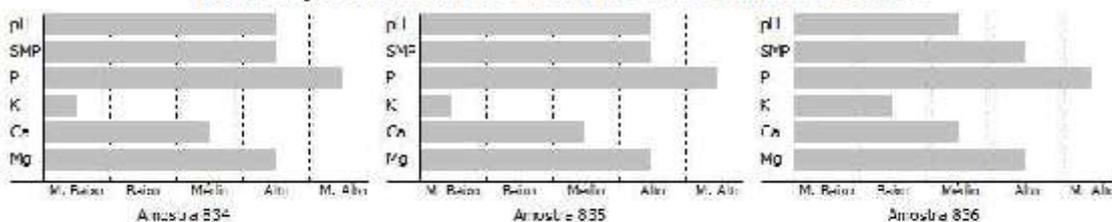
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
834	04	-	26	6,1	7,2	155,6	19,4	3,5	0,0	2,8	2,4
835	05	-	36	6,2	7,2	131,7	12,9	3,4	0,0	2,8	2,1
836	06	-	5	5,7	6,5	120,9	35,5	3,5	0,0	4,0	1,9

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
834	04	1,09	6,35	0,00	82,86	0,78	44,28	37,80	1,17	56,67	48,37
835	05	1,09	6,02	0,00	81,94	0,55	46,51	34,88	1,33	84,87	63,65
836	06	2,51	8,50	0,00	70,48	1,07	47,06	22,35	2,11	44,06	20,93

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCV espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng. -Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

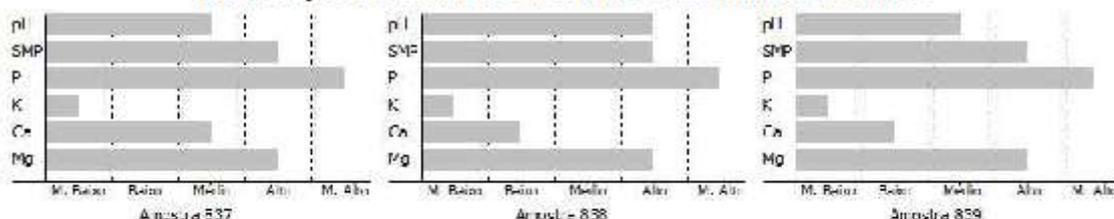
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
837	07	-	5	5,8	6,6	111,3	19,4	3,0	0,0	2,3	2,0
838	08	-	3	6,3	6,4	112,7	16,1	3,2	0,0	1,7	1,6
839	09	-	4	5,8	6,7	104,1	16,1	4,4	0,0	0,6	1,5

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
837	07	2,14	6,49	0,00	67,02	0,76	35,44	30,82	1,15	46,36	40,31
838	08	2,79	6,13	0,00	54,51	0,67	27,73	26,10	1,06	41,29	38,86
839	09	1,91	4,05	0,00	52,87	1,02	14,81	37,04	0,40	14,57	36,43

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/totometro de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

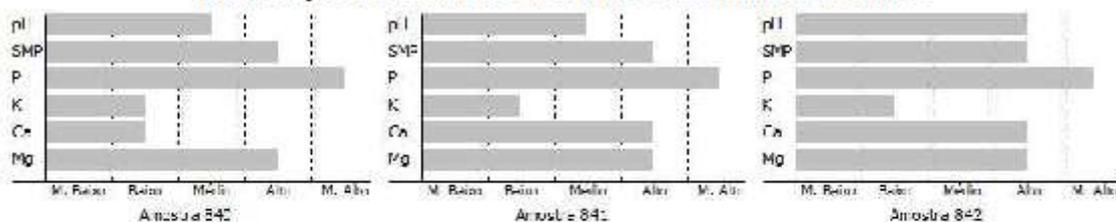
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
840	10	-	6	6,0	6,7	107,2	25,8	3,4	0,0	0,4	1,4
841	11	-	6	5,8	6,3	119,0	38,8	3,0	0,0	7,0	1,5
842	12	-	5	6,0	6,6	115,5	35,5	3,3	0,0	5,5	2,1

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
840	10	2,07	3,94	0,00	47,36	1,67	10,15	35,53	0,29	6,06	21,22
841	11	3,27	11,87	0,00	72,45	0,84	58,97	12,64	4,67	70,54	15,12
842	12	2,27	9,96	0,00	77,22	0,91	55,22	21,08	2,62	60,58	23,13

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng. -Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

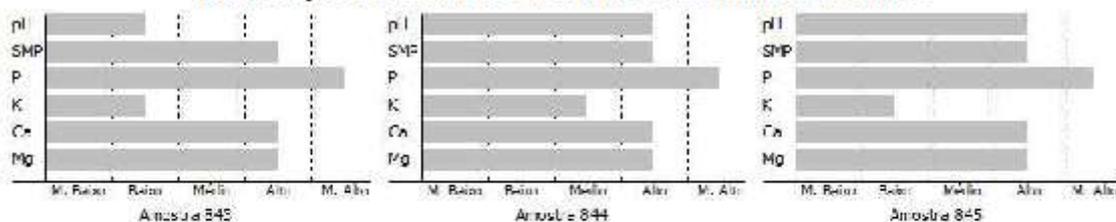
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
843	13	-	5	5,4	6,4	87,6	32,3	3,9	0,2	4,2	1,7
844	14	-	11	6,4	6,9	106,4	116,3	2,6	0,0	15,1	3,0
845	15	-	10	6,1	6,8	102,3	64,6	3,0	0,0	12,8	2,6

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
843	13	2,66	8,64	2,50	69,24	0,96	48,61	19,68	2,47	50,84	20,58
844	14	1,62	20,02	0,00	91,90	1,49	75,42	14,99	5,03	50,77	10,09
845	15	1,74	17,31	0,00	89,92	0,95	73,95	15,02	4,92	77,47	15,74

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/totometria de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng. -Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tuset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

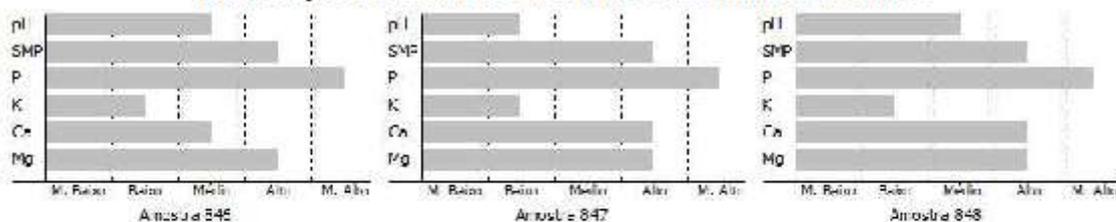
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
846	16	-	6	5,8	6,8	96,7	32,3	5,1	0,0	3,0	2,7
847	17	-	5	5,5	6,8	93,1	42,0	3,5	0,0	4,5	2,8
848	18	-	8	5,7	6,4	93,6	54,9	3,7	0,0	4,1	2,5

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
846	16	1,70	7,48	0,00	77,31	1,10	40,11	36,10	1,11	36,32	32,68
847	17	1,68	9,09	0,00	81,49	1,18	49,50	30,80	1,61	41,89	26,07
848	18	2,75	9,49	0,00	71,03	1,48	43,20	26,34	1,64	29,20	17,81

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas



#### Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: IVO ANDRÉ HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JÉSSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

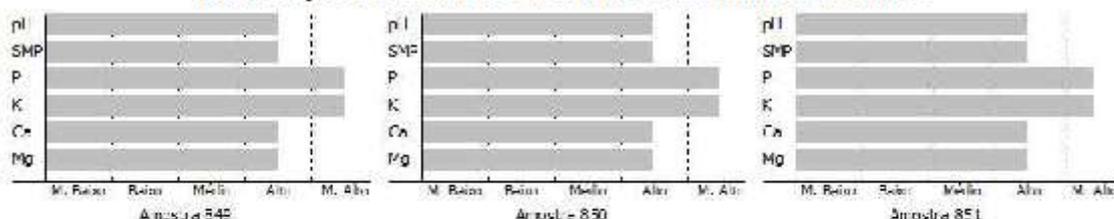
Data 2ª via: 31/03/2021

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm³	Ca cmolc/dm³	Mg cmolc/dm³
849	19	-	15	6,6	7,0	72,0	323,0	1,8	0,0	11,5	2,6
850	20	-	15	6,4	6,8	72,6	287,5	2,3	0,0	10,8	2,9
851	21	-	18	6,5	6,5	71,1	300,4	1,8	0,0	11,0	2,9

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
849	19	1,35	16,28	0,00	91,68	5,07	70,64	15,97	4,42	13,92	3,15
850	20	1,68	16,12	0,00	89,55	4,56	67,00	17,99	3,72	14,69	3,94
851	21	2,27	16,94	0,00	86,59	4,54	64,94	17,12	3,79	14,32	3,77

#### Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2



METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/totometria de chama; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng. -Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ASA16243-4CAF-4C38-8C75-E055113817DD  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



### Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolos



#### Relatório de Análise Química de Solo - Micronutrientes

Produtor...: IVO ANDRE HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34

Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Remetente...: JESSICA WEILER

Município...: PORTO ALEGRE - RS

Matrícula...:

Data Entrada: 10/03/2021

Data Análise: 19/03/2021

Data 2ª via...:

Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	Cu mg/dm³	Zn mg/dm³	Mn mg/dm³	Fe mg/dm³	B mg/dm³	S mg/dm³	Na mg/dm³	C.E. mS/cm
831	01	-	9,1	25,6	<2,5	>5,0	-	-	-	-
832	02	-	9,3	25,9	<2,5	>5,0	-	-	-	-
833	03	-	10,0	25,2	4,6	>5,0	-	-	-	-
834	04	-	10,5	26,4	<2,5	>5,0	-	-	-	-
835	05	-	10,4	25,7	5,5	>5,0	-	-	-	-
836	06	-	11,4	26,0	4,7	>5,0	-	-	-	-
837	07	-	9,4	25,3	4,2	>5,0	-	-	-	-
838	08	-	11,2	26,1	<2,5	>5,0	-	-	-	-
839	09	-	12,9	25,5	3,2	>5,0	-	-	-	-
840	10	-	6,6	23,0	3,0	>5,0	-	-	-	-
841	11	-	7,6	23,9	8,1	>5,0	-	-	-	-
842	12	-	7,7	24,2	6,8	>5,0	-	-	-	-
843	13	-	8,7	23,6	12,5	>5,0	-	-	-	-
844	14	-	3,2	24,4	18,5	>5,0	-	-	-	-
845	15	-	5,9	24,3	17,9	>5,0	-	-	-	-
846	16	-	8,0	23,8	14,1	>5,0	-	-	-	-
847	17	-	7,3	23,5	17,7	>5,0	-	-	-	-
848	18	-	7,2	24,1	15,8	>5,0	-	-	-	-
849	19	-	3,0	23,8	18,2	>5,0	-	-	-	-
850	20	-	3,5	24,2	25,2	>5,0	-	-	-	-
851	21	-	3,8	23,7	26,7	>5,0	-	-	-	-

**METODOLOGIAS:** Enxofre - extraído com fosfato de cálcio e determinado por colorimetria; Cobre, Zinco e Ferro - extraídos pelo método Mehlich-1 e determinados em espectrofotometria de absorção atômica; Manganês - extraído pelo método do KCl e determinado em espectrofotometria de absorção atômica; Boro - extraído com água quente e determinado por colorimetria; Condutividade elétrica - determinada pela condução elétrica do solo via eletrodo.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
ABA267EC-37CA-4F5C-A112-8A4E7912FB28  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: [labsolosch@epagri.sc.gov.br](mailto:labsolosch@epagri.sc.gov.br)



Governo do Estado de Santa Catarina  
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca  
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



**Laboratório de Análise de Solos**  
Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos  
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

**Relatório de Análise Física do Solo**

Produtor...: IVO ANDRE HOMRICH SCHNEIDER - CPF 553.900.130-34  
Localidade...: AVENIDA BENDO GONÇALVES  
Município...: PORTO ALEGRE - RS  
Remetente...: JESSICA WEILER  
Município...: PORTO ALEGRE - RS  
Matrícula...:  
Data Entrada: 10/03/2021  
Data Análise: 23/03/2021  
Data 2ª via.: 31/03/2021  
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	Análise Granulométrica (%)			Zoneamento Agrícola
			Argila	Areia	Silte	Tipo de Solo
831	01	-	0,0	87,3	12,7	-
832	02	-	0,0	101,3	-1,3	-
833	03	-	0,0	91,7	8,3	-
834	04	-	0,0	87,9	12,1	-
835	05	-	0,0	90,0	10,0	-
836	06	-	0,0	90,5	9,5	-
837	07	-	0,0	88,2	11,8	-
838	08	-	0,0	89,7	10,3	-
839	09	-	0,0	89,7	10,3	-
840	10	-	13,8	75,6	10,6	SOLO TIPO 1
841	11	-	9,8	75,8	14,4	-
842	12	-	7,8	77,8	14,4	-
843	13	-	7,8	81,0	11,2	-
844	14	-	23,8	46,5	29,7	SOLO TIPO 2
845	15	-	15,8	56,5	27,7	SOLO TIPO 2
846	16	-	9,8	76,6	13,6	-
847	17	-	9,8	73,3	16,9	-
848	18	-	9,8	73,4	16,8	-
849	19	-	23,8	40,3	35,9	SOLO TIPO 2
850	20	-	25,8	39,9	34,3	SOLO TIPO 2
851	21	-	25,8	37,1	37,1	SOLO TIPO 2

Metodologias: Argila - determinada por densimetria; Areia - determinada por gravimetria;  
Silte - determinado por cálculo matemático.

EVANDRO SPAGNOLLO  
Eng.-Agr. Dr. CREA-SC 53.652-8  
Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
CCA70886-AD98-4A76-88AB-D2D3F8AE261C  
Confira os dados do laudo em:  
<http://solosch.epagri.sc.gov.br/>

Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - Cepaf  
Servidão Ferdinando Tusset, s/nº, São Cristóvão, C.P. 791  
89.801-970 - Chapecó, SC  
Fone: (49) 2049-7570 e 2049-7581  
E-mail: labsolosch@epagri.sc.gov.br

**ANEXO 2 – Análise de tecido vegetal da *Eragrostis tef*.**



GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO RURAL E DA AGRICULTURA  
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina S.A.  
Laboratório de Fisiologia e Nutrição vegetal  
Laudo de análises de tecidos

Fone: (49) 3561 6823 - (49) 3561 6830 - (49) 3561 6831 - Caçador, SC, Brasil

Produtor: Ivo André Homrich Schneider

Endereço: Avenida Bento Golçalves

Município: Porto Alegre, RS

Espécie: Folhas de *Eragrostis Tef*.

Data de entrada: 15/03/2021

Data de emissão: 01/06/2021

CÓDIGOS		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	B
Lab.	Remet.	(g/Kg)	(g/Kg)	(g/Kg)	(g/Kg)	(g/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
437	Amostra 01	23,1	4,2	8,3	9,7	3,3	190	181	10	1
438	Amostra 02	18,9	3,4	6,5	8,3	3,3	140	103	9	0
439	Amostra 03	21,0	3,7	9,8	7,9	2,9	194	223	10	1
440	Amostra 04	21,0	4,2	9,6	6,7	2,9	216	333	8	1
441	Amostra 05	14,7	3,8	8,6	6,7	3,2	137	186	8	0
442	Amostra 06	25,2	4,6	12,3	6,3	3,0	95	200	9	1
443	Amostra 07	16,8	2,7	8,1	7,4	3,6	106	231	6	1
444	Amostra 08	16,8	3,9	12,0	8,2	4,0	131	219	7	0
445	Amostra 09	18,9	4,3	12,3	8,1	3,7	112	298	7	2
446	Amostra 10	14,7	5,4	13,8	7,7	2,9	97	129	5	1
447	Amostra 11	21,0	4,7	13,2	9,7	2,6	177	134	6	2
448	Amostra 12	18,9	3,4	9,7	10,5	2,7	119	90	5	0
449	Amostra 13	16,8	3,8	12,2	8,9	2,8	116	141	8	1
450	Amostra 14	25,2	4,5	15,8	6,3	2,0	117	144	5	0
451	Amostra 15	21,0	4,1	12,9	8,2	2,8	131	178	4	1
452	Amostra 16	21,0	5,9	11,5	8,5	4,1	90	146	4	0
453	Amostra 17	37,8	5,0	15,7	12,4	3,2	102	87	5	9
454	Amostra 18	18,9	4,4	16,7	8,4	2,4	75	86	3	0
455	Amostra 19	29,4	6,6	24,0	8,5	1,6	215	76	6	7
456	Amostra 20	27,3	6,7	25,9	9,9	1,6	120	64	6	17
457	Amostra 21	18,9	6,6	18,4	8,3	1,5	69	68	2	1

OBS.: Mineral B, Lab. 453, 455 e 456, foram refeitas e concentrações permaneceram mais altas que demais amostras.

OBS.: (g/kg = % x 10)

e (mg/kg = ppm)

Caçador: 01/06/2021



Eng.-Agr., Dr. Leandro Hahn  
Responsável pelo Laboratório  
CREA-SC - Nº 070879-0