

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDRÉ BORBA PAZ LEÃO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO SORGO (*Sorghum bicolor*) NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE CALCÁRIO**

Caçapava do Sul

2023

ANDRÉ BORBA PAZ LEÃO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO SORGO (*Sorghum bicolor*) NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE CALCÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Guimarães
da Silva

Coorientador: Me. Guilherme Pacheco
Casa Nova

Caçapava do Sul

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

L437a Leão, André Borba Paz

Avaliação do potencial do sorgo (*Sorghum bicolor*) na
recuperação de área degradada por mineração de calcário /
André Borba Paz Leão.

56 p.

Tese (Doutorado)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2023.

"Orientação: Mateus Guimarães da Silva".

1. mineração de calcário. 2. recuperação de área degradada.
3. revegetação. 4. sorgo (*Sorghum bicolor*). I. Título.

ANDRÉ BORBA PAZ LEÃO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO SORGO (*Sorghum bicolor*) NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE CALCÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 06 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

UNIPAMPA

Prof. Dr. Thiago Henrique Lugokenski

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MATEUS GUIMARAES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2023, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2023, às 13:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **THIAGO HENRIQUE LUGOKENSKI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 13:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1325167** e o código CRC **B89826E6**.

Dedico este trabalho ao meu pai, Valderi Paz Leão (in memoriam), meu maior exemplo.

AGRADECIMENTO

A minha mãe, Elma Borba de Leão, minha fonte de energia, carinho e amor.

Ao meu irmão, Vinícius Borba Paz Leão, minha confiança e apoio incondicional.

A minha namorada, Tauana Apolo Ferreira, pelo incentivo e por sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu filho, Miguel Leão, pelo carinho e ressignificação da vida.

Aos meus professores, em especial, Caroline Wagner, Mateus Guimarães da Silva e Guilherme Pacheco Casa Nova, por tornarem possível a realização desse objetivo.

“A educação é o único caminho para emancipar o homem. Desenvolvimento sem educação é criação de riquezas apenas para alguns privilegiados”

Leonel Brizola

RESUMO

A necessidade de alternativas para a recuperação de áreas degradadas pela mineração de calcário torna a planta de sorgo (*Sorghum bicolor*) uma potencial e versátil alternativa diante de suas características adaptativas e produtivas. A atividade mineradora provoca extensas áreas com solos subvertidos e vegetação suprimida. Diante disso, foi realizada revisão bibliográfica, análises físico-químicas dos condicionantes para a execução, somados a experimentos práticos sob condições reais e em laboratório. A expressão ecofisiológica na pilha de estéril em Caçapava do Sul, ilustra o caráter promissor dessa técnica, porém, deve-se atentar, principalmente, às limitações na sucessão ecológica e nas variações climáticas. Além disso, a escassez de matéria orgânica atrelada ao alto potencial de hidrogênio provocou relações nutricionais deteriorantes nas plantas.

Palavras-Chave: mineração de calcário; recuperação de área degradada; revegetação; sorgo (*Sorghum bicolor*).

ABSTRACT

The need for alternatives for the recovery of areas degraded by limestone mining makes the sorghum plant (*Sorghum bicolor*) a potential and versatile alternative given its adaptive and productive characteristics. Mining activity causes extensive areas with subverted soil and suppressed vegetation. In view of this, a bibliographical review and physical-chemical analysis of the conditions for execution were carried out, in addition to practical experiments under real conditions and in the laboratory. The ecophysiological expression in the waste pile in Caçapava do Sul illustrates the promising nature of this technique, however, attention must be paid, mainly, to the limitations in ecological succession and climatic variations. Furthermore, the scarcity of organic matter linked to the high potential of hydrogen caused deteriorating nutritional relationships in plants.

Keywords: limestone mining; recovery of degraded area. revegetation; sorghum (*Sorghum bicolor*).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura completa de uma planta de sorgo completa	17
Figura 2: Alimentos desenvolvidos com sorgo	18
Figura 3: Produção artesanal da Dolo	21
Figura 4: Atividade mineradora de calcário	22
Figura 5: Topo da pilha estéril	23
Figura 6: Principais etapas do experimento em pilha de estéril	29
Figura 7: Montagem do experimento nos laboratórios CCTA	31
Figura 8: Ensaio de potencial de hidrogênio	32
Figura 9: Ensaio de carbono total	34
Figura 10: Resultado do teste de germinação.	37
Figura 11: Plantas de sorgo dos tratamentos, 1º, 3º, 4º e 2º	40
Figura 12: Brotação em todas as unidades do experimento	41
Figura 13: Influência do pH sobre a disponibilidade de nutrientes	43
Figura 14: Sorgo em solo 100% rejeito e em solo Unipampa	44
Figura 15: Cordão vegetal	44
Figura 16: Altura do Sorgo em centímetros	45
Figura 17: Planta de sorgo após estresse hídrico	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química (%) de grãos de sorgo inteiros e em seus tecidos	20
Tabela 2: Impacto, Medida Mitigadora, Medida Compensatória	26
Tabela 3: Ensaio de Espectrometria por Fluorescência de Raios-X	37
Tabela 4: Teor de umidade	39
Tabela 5: Análise do percentual de calcário por pedra ao fogo (1000°C)	40
Tabela 6: Percentual de matéria orgânica	41
Tabela 7: Potencial de hidrogênio e teor de calcário	41

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	Centímetro
g	Gramma
mm	Milímetros
p	Página
pH	Potencial de hidrogênio
ppm	Partes por milhão
uC	Microcoulomb

LISTA DE SIGLAS

AFREBRAS	Associação dos Fabricantes de Refrigerantes do Brasil
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologia Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
WWF	<i>World Wide Fund For Nature</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivos Gerais	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	16
3.2 Mineração de calcário	21
3.2.1 Pilha estéril	22
3.2.2 Alumínio como contaminante do solo	24
3.2.3 Tolerância ao alumínio	24
3.3 Desafios da utilização do sorgo	25
3.4 Importância do recobrimento vegetal	27
4 Metodologia	29
4.1 Montagem experimental	29
4.2 Análise do solo	30
4.3 Ensaio de pH	30
4.3 Ensaio de umidade e teor de Calcário	31
4.4 Ensaio de carbono total (Matéria Orgânica) no solo	32
4.5 Análise de Sementes utilizadas	33
4.6 Ensaio de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X	34
4.7 Análise morfológica das plantas	34
5 Resultados e Discussão	35
5.1 Germinação de sementes	35
5.2 Caracterização do solo e acompanhamento do desenvolvimento	35
6 Considerações finais	44
7 REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma cultura versátil que pode desempenhar um papel importante na recuperação de áreas degradadas devido a várias características. Neste trabalho estão alguns pontos-chave sobre o potencial do sorgo nesse contexto, incluindo a tolerância a condições adversas devido a sua capacidade de crescer em solos de baixa fertilidade como solos degradados. Sua polivalência o torna uma escolha viável para área de material estéril oriundo da mineração de calcário, onde outras culturas podem não prosperar. A recuperação de áreas calcárias é um processo crucial para mitigar os impactos ambientais causados pela extração mineral, sendo que deste processo podem resultar mudanças significativas através da remoção da vegetação (Pinto, 2020).

A revegetação é crucial para áreas degradadas pela mineração de calcário, pois ajuda a restaurar o ecossistema, prevenir a erosão do solo, melhorar a qualidade da água e fornecer habitat para a vida selvagem. Ela contribui para a recuperação dessas áreas, promovendo um equilíbrio ambiental mais saudável (De Moura, 2015). O sorgo ganha relevância devido às suas raízes profundas que ajudam na estabilização do solo, prevenindo a deterioração, sua resistência às condições adversas, permitindo aporte de matéria orgânica nesses sistemas com poucos nutrientes (EMBRAPA, 2017).

A mineração de calcário é uma atividade econômica importante, que fornece matéria-prima para a produção de cimento, cal e argamassa. No entanto, a atividade também pode causar impactos ambientais significativos, como a formação de áreas degradadas (Silva, 2023). A revegetação de áreas degradadas pela mineração de calcário é uma medida importante para a recuperação ambiental e o desenvolvimento sustentável. No Brasil, a legislação ambiental estabelece normas e diretrizes para a recuperação dessas áreas, incluindo a revegetação (Lopes, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Verificar o potencial do uso do sorgo como cobertura vegetal em áreas degradadas de mineração de calcário;

2.2 Objetivos Específicos

- a) Comparar o desenvolvimento de plantas de sorgo *in situ* e *ex situ* em solo proveniente de área de estéril de mineração de calcário.

- b) Avaliar possíveis efeitos tóxicos do rejeito da mineração de calcário sobre o crescimento de plantas de sorgo que possam inibir seu desenvolvimento *in situ*.

- c) Propor alternativa para otimizar a revegetação de áreas degradadas pela mineração de calcário.

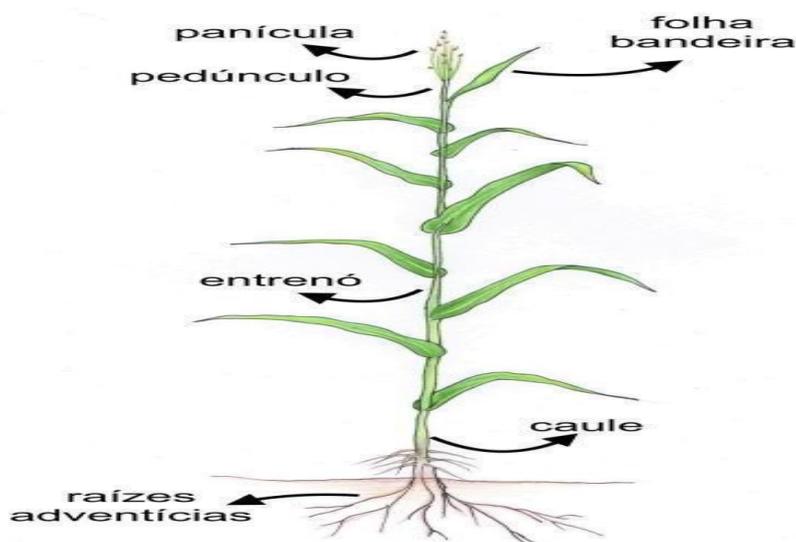
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sorgo (*Sorghum bicolor*)

Os genótipos de sorgo, independentemente da forma ou uso, fazem parte do gênero "Sorghum". Eles podem ser divididos em cinco grupos diferentes: biomassa, forrageiro, granífero, sacarino e vassoura. De modo geral, as variedades de sorgo têm entre 2 até 4 metros, com caules, doces ou insípidos. Suas características fenotípicas determinam que seja de fácil plantio, manejo, colheita e armazenamento, possui alto valor nutricional, alta concentração de carboidratos solúveis, garante suficiente fermentação láctica e alto rendimento de matéria seca por unidade de área. É uma planta amplamente utilizada como silagem nutritiva ao gado (Filho, et al., 2014).

O sorgo pode ser cultivado em todo o Rio Grande do Sul, mas a produtividade dos grãos varia entre anos e regiões. Estas alterações são causadas principalmente pela escassez de água durante o crescimento das culturas, que pode ser grave no final da Primavera e no início do Verão em alguns anos, especialmente nas regiões mais quentes. A ocorrência de geadas tardias é outro fator que, embora em menor proporção, também pode ter um impacto negativo nas alterações de produtividade (EMBRAPA, 2017). Ademais, conforme observado por Teixeira et al. (2011), a produtividade de biomassa do sorgo pode ultrapassar 6.000 kg ha⁻¹ durante a maturidade fisiológica da cultura, produzindo mais de 3.000 kg ha⁻¹ de matéria seca. Alternativa em áreas muito quentes e muito secas, onde não é possível obter alta produtividade de grãos ou rações com culturas como o milho (MOLINA et al., 2000). A massa das raízes primárias do milho e do sorgo é basicamente a mesma, mas as raízes secundárias do sorgo são pelo menos duas vezes maiores que as do milho. Além disso, o sistema radicular do sorgo é mais extenso, fibroso e possui mais pêlos que absorvem água. O sistema radicular pode atingir 1,5 m, 80% da massa radicular está distribuída na camada do solo de 0 a 30 cm de profundidade e a extensão lateral pode atingir 2,0m (MAGALHÃES E RODRIGUES, 2001). Na (Figura 1) é apresentada a estrutura completa de uma planta de sorgo.

Figura 1: Estrutura completa de uma planta de sorgo completa



Fonte: SILVÉRIO, 2017.

Contudo, a ideia da utilização do sorgo para recuperar área degradada de mineração advém da profundidade de raízes, que permite a incorporação de matéria orgânica no solo proporcionando sequestro de carbono atmosférico, palhada com alta relação de nitrogênio e carbono que permite uma cobertura do solo por maior tempo, redução da volatilização como perdas gasosas de nitrogênio amoniacal, melhoria em atividades microbiológicas, aumento da infiltração de água no solo, controle de erosão e ainda melhorias nas condições climáticas locais (FILHO., RODRIGUES., 2015).

Sorgo Biomassa

O aumento da demanda de energia levou à procura de fontes alternativas, e recentemente a biomassa começou a ser utilizada para produzir eletricidade em sistemas de cogeração. Portanto, o sorgo biomassa torna-se uma cultura importante para a produção de energia, pois apresenta diversas vantagens em relação às demais culturas, como rápido crescimento e, principalmente, possui alto potencial de produção (PIASSA, 2016)..

Nos planos de recuperação de áreas degradadas, o plantio de sorgo biomassa pode ser feito continuamente, intensificando o sorgo em faixas. O objetivo da plantação de sorgo não será criar um herbário permanente, pois isto é melhor

feito com espécies locais, embora alguma vegetação no solo, mesmo sendo de espécie exótica, seja muito melhor do que nenhuma cobertura. No entanto, a natureza temporária das plantas de sorgo biomassa facilitam o manejo tanto da introdução quanto da remoção das plantas (SPONCHIADO, 2018).

Sorgo e Segurança Alimentar

O sorgo é utilizado na alimentação humana, principalmente em países da Ásia e África. Em contrapartida, no Brasil, tem baixo consumo devido a fatores culturais e a falta de conexão entre a cadeia de comércio e a demanda (PORTAL EMBRAPA, 2008), denota-se uma área promissora devido a ampla gama de peculiaridades, já citadas anteriormente, somadas à extensa área agricultável no país e as recorrentes mudanças climáticas que podem afetar a produção de alimentos. Essa premissa de crescimento, pode ser atribuída a palatabilidade que é descrita como doce e suave, aos benefícios nutricionais, à versatilidade, benefícios ambientais e alto rendimento. Diversos produtos podem ser elaborados, na maior parte como substitutos ou complementos ao milho e ao trigo, em pães, bolos, mingaus e também pipoca (MAFRA, 2022). Outra característica importante é a ausência de glúten, dessa forma, a Embrapa tem desenvolvido alimentos, como por exemplo: *cookies*, *cupcakes* e mini-pipoca (Figura 2).

Figura 2: Alimentos desenvolvidos com sorgo



Fonte: CARVALHO, 2014.

Segundo dados do relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) sobre: “O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo” aponta que o Brasil, em 2022, possuía 70,3 milhões de pessoas em estado de insegurança alimentar moderada e, que 21,1 milhões estavam em insegurança alimentar grave, caracterizado por estado de fome (GOV, 2023). É importante correlacionar o sorgo com a segurança alimentar porque ele é uma alternativa na inibição da fome garantindo a sustentabilidade nos processos produtivos e do ponto de vista nutricional, é rico em nutrientes e antioxidantes, assemelhando-se ao milho, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Composição química (%) de grãos de sorgo inteiros e em seus tecidos

Nutrientes (%)		Grão inteiro	Endosperma	Germe	Pericarpo
Proteínas	Média	11,3	10,5	18,4	6,0
	Min - máx	7,3 – 15,6	8,7 – 13,0	17,8 – 19,2	5,2 – 7,6
	Distribuição	100	80,9	14,9	4,0
Fibras	Média	2,7	-	-	-
	Min - máx	1,2 – 6,6	-	-	-
	Distribuição	100	-	-	-
Lipídios	Média	3,4	0,6	28,1	4,9
	Min - máx	0,5 – 5,2	0,4 – 0,8	26,9 – 30,6	3,7 – 6,0
	Distribuição	100	13,2	76,2	10,6
Cinzas	Média	1,7	0,4	10,4	2,0
	Min - máx	1,1 – 2,5	0,3 – 0,4	-	-
	Distribuição	100	20,6	68,6	10,8
Amido	Média	71,8	82,5	13,4	4,6
	Min - máx	55,6 – 75,2	81,3 – 83,0	-	-
	Distribuição	100	94,4	1,8	3,8

Fonte: VIEIRA, 2021.

Observa-se na Tabela 1 a maior prevalência do amido, seguido de proteínas. O sorgo possui um futuro promissor, vista a potencialidade econômica de produção, a resistividade hídrica superior à maioria dos cereais, fonte de nutracêuticos devido à compostos bioativos e a ausência de glúten (VIEIRA, 2021).

Cervejas de Sorgo

Uma das bebidas mais apreciadas pelos brasileiro também pode ser feita com malte de sorgo e vem ganhando relevância devido a demanda e oferta limitada de cervejas sem glúten e com baixo teor alcoólico. Tradicionalmente ocorre a produção cervejeira baseada em maltes de cevada, no entanto, boa parte deste ingrediente acaba sendo importado encarecendo o processo (RODRÍGUEZ, et al., 2018). A cerveja de sorgo apresenta uma viscosidade superior às de cevada e tem um sabor levemente adocicado com coloração indo do amarelo até o rosa. (ZWEYTICK e BERGHOFER, 2009).

O consumo de cervejas com malte de sorgo são difundidas pelo continente africano, como por exemplo: a Pito feita no norte de Gana, partes da Nigéria e outras partes da África Ocidental (AFREBRAS, 2018) e a Dolo, bebida produzida artesanalmente majoritariamente (Figura 3) com graduação alcoólica de 3 a 15%, mais consumida em Burkina Faso (AFREAKA, 2014).

Figura 3: Produção artesanal da Dolo



Fonte: AFREAKA, 2014.

3.2 Mineração de calcário

A cidade de Caçapava do Sul é hegemônica na produção de calcário no Rio Grande do Sul. Esse minério é amplamente utilizado como regulador de acidez do solo, extraído através de métodos de mineração em minas a céu aberto. A mineração de calcário é um setor importante da economia da cidade e cria inúmeras oportunidades de emprego (Corrêa, et al., 2020).

O rejeito desta atividade é depositado em pilhas, formando cerros que admitem parâmetros semelhantes aos observados no calcário dolomítico, da Formação Irati (Cornejo, et al., 1999). A mineralogia dominante destes solos reflete a mineralogia do material original, os fragmentos de calcário e sílex dominam a fração areia, são muito finos, com fragmentos e alguns sinais de sílica amorfa, quartzo, feldspato e mica. Na parte silte-arenosa, além do quartzo, também há feldspato. Uma característica desse rejeito é seu alto teor de alumínio que dependendo da sua

forma química e da característica do solo no qual se encontra pode estar mais ou menos biodisponível. Segundo Vance, et al., (1996), a presença de ácidos orgânicos no solo podem formar complexos com o alumínio tornando-o menos disponível para a planta. Ainda, a avaliação de matéria orgânica neste material é de suma importância para melhor compreensão da disponibilidade do alumínio (Zambrosi, 2007).

A degradação em virtude da mineração está relacionada com a formação através das escavações de cavas e pilhas de estéril, além da retirada da vegetação, trânsito de equipamentos pesados, abertura de vias (Figura 4), derramamento acidental de óleos, graxas e combustíveis, detonações e intervenção sobre o fluxo natural das drenagens (Figueiredo, 2018).

Figura 4: Atividade mineradora de calcário



Fonte: Autor

3.2.1 Pilha estéril

A Norma NBR 13.029 define rejeitos de minas como todo e qualquer material retirado com a finalidade de desenvolvimento da lavra e que não tenha utilização econômica (Franca, 2017). Segundo o trabalho desenvolvido por Santos (2013), quando essas pilhas não são adequadamente gerenciadas, podem ocorrer vazamentos de substâncias tóxicas para o solo e águas subterrâneas, afetando

negativamente a vegetação circundante. Esses vazamentos podem resultar na contaminação do solo e na diminuição da qualidade do ambiente, tornando-o inadequado para o crescimento das plantas (CETESB, 2023). O que não pode ser ignorado são os riscos ambientais e o futuro uso do solo da área onde está localizado o depósito de resíduos como visto, por exemplo na (Figura 5). Isto ocorre porque tais estruturas são extremamente fortes, tornando-as as maiores estruturas construídas pelo homem em ambientes de mineração. Além disso, a pilha está relacionada com os custos envolvidos e o retorno do empreendimento. (Dos Santos, 2021).

Figura 5: Topo da pilha estéril



Fonte: Autor

Em alguns casos, certas plantas podem desenvolver uma tolerância a essas substâncias tóxicas e crescer nas áreas próximas às pilhas de estéril. Esse processo é conhecido como fitoextração, no qual certas plantas conseguem absorver os contaminantes do solo, ajudando na descontaminação da área. Muitas vezes, são necessárias estratégias de remediação ambiental para lidar com os impactos negativos das pilhas de estéril na vegetação. Isso pode envolver ações como o tratamento das pilhas para reduzir a liberação de substâncias tóxicas, o plantio de vegetação adequada para ajudar na recuperação do solo e a implementação de práticas de gestão ambiental para minimizar os danos futuros (Branches, 2010).

3.2.2 Alumínio como contaminante do solo

O Alumínio é um cátion carregado pequeno, sendo um íon metálico duro com capacidade de hidrolisar-se em solução aquosa. Este metal no solo apresenta-se normalmente de forma não tóxica e insolúvel, na composição de óxidos aluminossilicatos. Ainda, pode estar presente nos aquíferos e no tratamento de águas, geralmente, como sulfato de alumínio (Pavani, 2010). Apesar de o alumínio ser um nutriente para as plantas, concentrações excessivas de alumínio no solo têm maior probabilidade de causar problemas tóxicos nas culturas porque é o metal mais abundante. Sua toxicidade é considerada um dos principais problemas de metais em solos ácidos, o que reduz a produtividade das plantas (Bennett e Breen, 1991). Quanto mais argila 1:1, mais alumínio no solo, que tem uma carga dependente do pH. O alumínio que é tóxico para as plantas está na forma de Al^{3+} , que é encontrado em pH ácido. A maioria dos estudos afirma que quando a saturação de alumínio (TC efetiva) é superior a 10% em uma análise de solo, ocorrem danos às plantas (Machado, 2023). Embora o alumínio cause danos consideráveis às culturas, também pode ser benéfico em baixas concentrações, estimulando o desenvolvimento de algumas espécies (Salvador et al., 2000; Foy, 1974).

Quando as plantas são expostas ao excesso de alumínio, os sintomas visíveis mais comuns de toxicidade são a inibição do crescimento das raízes, a redução da utilização do solo, resultando na redução da absorção de nutrientes, maior susceptibilidade ao stress hídrico e redução do crescimento da parte aérea. Além do fraco desenvolvimento das raízes, o alumínio pode causar espessamento das pontas (Machado, 2023).

Além de sua interação em qualquer sistema que utilize Mg^{2+} ou qualquer forma de fosfato, o alumínio também exerce efeito antagônico ao cálcio, inibindo diversos processos metabólicos regulados por esse nutriente (Martin, 1988; Rengel, 1992).

3.2.3 Tolerância ao alumínio

O alumínio tóxico afeta o alongamento e a divisão celular em plantas sensíveis, que podem ser tratadas com calcário e fertilizantes. No entanto, é

tecnicamente difícil encontrar uma forma de remover o alumínio trocável na parte inferior do solo, o que aumenta os custos e requer remediação extensiva devido à acidez prejudicial. A melhor solução é o desenvolvimento genético das plantas (Ferreira. et al, 2006).

No cultivo do sorgo, as variedades são selecionadas de acordo com os critérios das plantas mais produtivas. Além disso, não existem parâmetros entre a produtividade do solo ácido e fértil (Zeigler et al., 1995).

A busca por plantas tolerantes a solos ácidos deve-se à grande variabilidade inter e intra-específica no transporte, assimilação e utilização de nutrientes devido ao estresse de nutrientes. Existem vários resultados satisfatórios principalmente para milho, sorgo e trigo quando expostos a estresse nutricional que afeta diretamente a tolerância ao alumínio. A utilização de genótipos adaptados é uma alternativa para plantio em solos ácidos (Petrere. et al, 2007).

Observa-se, segundo (Petrere, 2007), que há diferentes formas de prejuízo às plantas pela entrada do alumínio, mas em contrapartida, ao obter-se variantes tolerantes criam-se estratégias produtivas e possíveis fontes de reparos a solos contaminados. Nessa conjuntura, a Embrapa em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu através da identificação de dois novos genes que potencializam a tolerância da planta ao alumínio na cultura do sorgo. Os dois genes identificados potencializam o efeito de um terceiro, chamado SbMATE, que faz com que as plantas tolerem o alumínio tóxico em solos ácidos.

3.3 Desafios da utilização do sorgo

No processo de recuperação em áreas degradadas de mineração de calcário, há o anseio de promover a interação entre o sorgo e as mais diversas espécies de animais e insetos, visando o aumento da complexidade e da biodiversidade. No entanto, o sorgo possui um gene, identificado como "Tannin1" que relaciona-se simultaneamente a produção de moléculas atraentes e repelentes. Esse gene faz o controle da síntese de polifenóis adstringentes que limitam os compostos orgânicos voláteis derivados de ácidos graxos que atraem os pássaros, dessa forma, é imprescindível a adequação desses efeitos sobre o plano recuperador (Gottens, 2019).

A toxicidade do sorgo advém do cianeto de hidrogênio (HCN), principalmente na fase de crescimento onde existe maior concentração de glicosídeos cianogênicos, nessa fase a planta possui aproximadamente 20cm de altura, ou sete semanas após o plantio. Por conseguinte, animais que tenham consumido essas plantas nesse período podem sofrer intoxicação, e o processo desencadeia-se através da ação do cianeto de hidrogênio ao bloquear a cadeia respiratória e impedir que o oxigênio chegue até os tecidos (Juffo, 2012).

Ademais, no contexto de sucessão ecológica o sorgo pode exercer pressão nas demais plantas em decorrência do sorgoleone, que é um complexo de substâncias proteicas e lipídicas que agem produzindo metabólitos afetando o crescimento ou desenvolvimento por alelopatia. Nas raízes do sorgo há tricomas que liberam o composto para o solo, e no momento em que ocorre contato com as plantas, é produzido o efeito de inibição do crescimento (Santos, I., 2010).

Desta forma, propõem-se o uso do sorgo como cobertura vegetal inicial, tanto como fitoextrator de alumínio como para repor matéria orgânica do solo, para futuramente ocorrer um processo de recuperação da área com espécies nativas.

A matriz de impacto ambiental simplificada é uma ferramenta que ajuda a identificar e avaliar os possíveis impactos ambientais de uma ação ou projeto. Ela permite visualizar de forma clara e organizada como certas atividades podem afetar o meio ambiente, facilitando o planejamento de ações para minimizar danos e promover práticas mais sustentáveis. Essa simplificação ajuda na comunicação e compreensão dos impactos, sendo útil para tomadas de decisões mais conscientes (tabela 2).

Tabela 2: Impacto, Medida Mitigadora, Medida Compensatória

Impacto	Medida Mitigadora	Medida Compensatória
Geração de resíduos estéreis	Caracterização do material estéril	Reaproveitamento do material
Elevação nos níveis de ruído	Uso de EPI Manutenção de máquinas e equipamentos Implantação de cortina vegetal	
	Manutenção e	

Geração de poeira e gases tóxicos	umidificação das vias de acesso Implantação de cortina vegetal Manutenção das máquinas e equipamentos	
Impacto visual	Revegetação e cortina vegetal	Revegetação
Alteração na qualidade das águas superficiais	Implantação de valetas de drenagem nas cristas e pés dos taludes e caixa de decantação à jusante da pilha	Monitoramento
Ruptura de taludes	Revegetação Ângulo de talude inferior ao ângulo de repouso natural do material e fatores de segurança dentro das normas	Revegetação

Fonte: Adaptado, De Souza, et. al., 2015.

3.4 Importância do recobrimento vegetal

A cobertura vegetal altera significativamente o microclima da superfície, reduzindo as alterações na umidade e na temperatura do solo. Este efeito de isolamento térmico está relacionado com processos que reduzem a coesão do solo através da decomposição de agregados e do enfraquecimento da estrutura sob alterações de temperatura, especialmente após ciclos de arrefecimento significativo (Coelho e Pereira, 2006).

No contexto da mineração, o sorgo pode ser utilizado como parte de um programa de revegetação para restaurar áreas impactadas. Ele pode ser plantado em cortinas florestais ao redor das áreas de mineração para ajudar na redução da dispersão de poeira e na filtragem de contaminantes presentes no ar e no solo. Além disso, o sorgo pode ser incorporado em programas de rotação de culturas para ajudar na recuperação progressiva do solo. No entanto, é importante considerar que o sorgo, por si só, pode não ser capaz de lidar totalmente com a descontaminação do solo ou a recuperação completa da área. Estratégias integradas que incluem

diferentes tipos de plantas, métodos de remediação do solo e práticas de gestão ambiental são frequentemente necessárias para promover uma recuperação eficaz e sustentável de áreas degradadas pela mineração (Sponchiado, 2018).

Os efeitos mecânicos e hidrológicos das raízes no solo contribuem para realizar ativamente projetos de engenharia como estabilização de taludes e controle de erosão. Porém, na escolha da vegetação a ser utilizada, as características das raízes devem ser levadas em consideração para atingir os objetivos, caso contrário poderão ter um efeito adverso ou ineficaz nas propriedades geotécnicas do solo (Stein, 2021). Ao analisar pilha de estéreis, (De Souza, et al, 2015) recomendam que posteriormente a conclusão das bancadas, pode-se iniciar a revegetação com gramíneas nativas ou exóticas adaptadas à área.

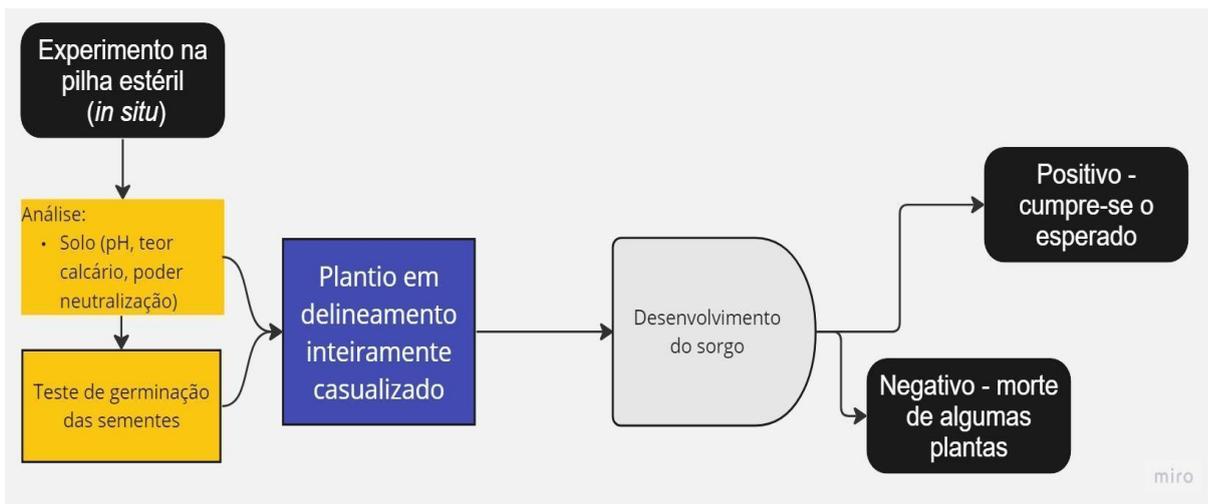
4 Metodologia

Os experimentos de revegetação utilizando-se plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) foram conduzidos *in situ* e *ex situ*. O ensaio *in situ* ocorreu numa pilha estéril de rejeito de calcário de uma mineradora de Caçapava do Sul/RS. Já o experimento de plantio *ex situ* foi realizado nos laboratórios de pesquisa do Centro de Ciências e Tecnologia da Unipampa - Campus Caçapava do Sul. De acordo com o Atlas Climático da Região Sul do Brasil, Caçapava do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, tem um clima subtropical úmido, com características de clima temperado. A temperatura média anual é de 18,5 °C, com médias de 22,5 °C no verão (dezembro a março) e 13,5 °C no inverno (junho a agosto). As temperaturas máximas absolutas podem chegar a 38°C no verão e as mínimas absolutas podem chegar a -5°C no inverno. A precipitação média anual é de 1724,4mm, com o verão sendo a estação mais chuvosa (250mm/mês). A umidade relativa do ar média anual é de 75%, sendo mais alta no inverno (80%) e mais baixa no verão (70%). O clima de Caçapava do Sul é propício para o desenvolvimento de uma variedade de atividades agrícolas, como a produção de soja, milho, trigo e arroz (Embrapa, 2012). As coordenadas geográficas são: latitude 30°33'20"S, longitude 53°25'40"W e altitude 860 metros e latitude 30°29'49"S, longitude 53°28'50"W e altitude 450 metros.

4.1 Montagem experimental

O experimento *in situ* foi dividido em várias etapas conforme apresentado no fluxograma da Figura 6:

Figura 6: Principais etapas do experimento em pilha de estéril



Fonte: Autor

O plantio foi realizado em semeadura direta na pilha de estéril em covas, sem adubação e organizado em delineamento inteiramente casualizado no local de topo da pilha de estéril (Figura 5) da página 24. Usadas entre 6 a 10 sementes por cova, numa profundidade média de 2,5 cm. Espaçamento de 50cm entre linhas e 20cm entre plantas. O período de plantio foi no início da primavera, 23 de setembro. Para o experimento ex situ foi coletada cinco amostras de solo da pilha de estéril, condicionada a necessidade de representatividade para área de um hectare (Molin, 2017), levadas para o laboratório e colocadas em canos de pvc com 100mm de diâmetro e 290mm de altura. Foram feitas três repetições para quatro tratamentos, totalizando doze parcelas e seis sementes para cada constituinte (Figura 7).

Figura 7: Montagem do experimento nos laboratórios CCTA



Fonte: Autor

Os tratamentos seguiram as seguintes proporções:

- 1º - **100% (1400cm³) Amostra de rejeito** - oriundo de pilha estéril de mineradora de calcário.
- 2º - **100% (1400cm³) Amostra de solo** - retirado do Campus Unipampa, Caçapava do Sul.
- 3º - **75% (1050cm³) Amostra de rejeito + 25% (350cm³) Amostra solo Unipampa.**
- 4º - **50% (700cm³) Amostra de rejeito + 50% (700cm³) Amostra solo Unipampa.**

As proporções foram definidas com a finalidade de detecção de possíveis efeitos tóxicos, baseados no incremento gradual de solo proveniente da pilha estéril, em contrapartida ao solo da Unipampa. Dessa forma, como aplicabilidade prática, gera-se diferentes granulometrias e teores de matéria orgânica. As plantas foram mantidas ao abrigo das intempéries climáticas, permanecendo no laboratório sem artificialismos de temperatura e umidade.

4.2 Análise do solo

O solo coletado foi analisado quanto aos seguintes parâmetros químicos e físicos: As áreas em que foram realizadas as coletas do solo em pilha de estéril de calcário estão todas situadas sobre solos litólicos, mais especificamente na Unidade

de Mapeamento Pinheiro Machado. Essa pilha de estéril é constituída pelo solo orgânico, argilas, diabásicos, xistos, granitóides, oriundos da decapagem que são retirados com escavadeiras para serem transportados (Baptista, 2015).

4.3 Ensaio de pH

O pH do solo é uma determinação da concentração de íons H^+ na solução do solo, que tem influência na disponibilidade de nutrientes.

Medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de solo:líquido (água). Medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (água, KCl ou $CaCl_2$), na proporção 1:2,5.

Procedimento (EMBRAPA, 2017): Pesar 10 g de solo (TFSA) e adicionar em um copo plástico de 100 mL. Adicionar 25 mL de água destilada ou 25 mL de solução salina (KCl 1 mol L^{-1} ou $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}). Agitar a amostra com bastão de vidro individual por cerca de 60 s e deixar em repouso 1 hora. Após o repouso, agitar ligeiramente cada amostra com bastão de vidro ou de teflon, mergulhar os eletrodos na suspensão homogeneizada e proceder a leitura do pH no Peagâmetro (Figura 8)..

Figura 8: Ensaio de potencial de hidrogênio

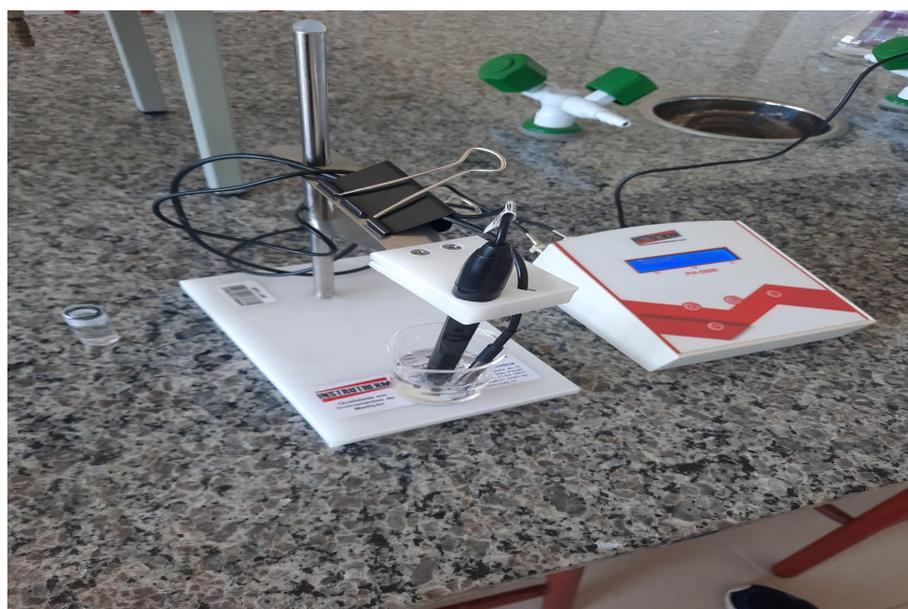


Foto: autor

4.3 Ensaio de umidade e teor de Calcário

A umidade representa o conteúdo de água presente na amostra em determinado momento e local, podendo ser determinada in situ ou por amostragem, para determinação em laboratório.

Procedimento: pesar (amostra úmida + recipiente) e transferir para estufa a 105 °C, deixando-a nessa condição até peso constante (para a maioria dos solos, 24 horas é tempo suficiente). Retirar da estufa, colocar em um dessecador, deixar esfriar e pesar (amostra seca + recipiente). O conteúdo gravimétrico de água é calculado pela equação 1:

$$CGA = (a - b)/b \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em kg kg⁻¹;

a – massa da amostra úmida, em g;

b – massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g;

Ensaio teor de calcário: A perda ao fogo apresenta apenas um valor global de perda de massa da amostra na faixa de temperatura ambiente até 1000°C.

4.4 Ensaio de carbono total (Matéria Orgânica) no solo

A matéria orgânica está correlacionada com diversas funções, dentre elas, a nutrição do solo e a capacidade de trocas de cátions. Por exemplo, cálcio, magnésio e potássio, quando adsorvidos, podem ser usados pelas plantas. Contudo, com o aumento da matéria orgânica, a nutrição das plantas pode melhorar devido à maior disponibilidade de nutrientes absorvidos pelo solo (Siqueira, 2020). Para determinar o teor de matéria orgânica foi quantificado a diferença entre a massa seca de solo e a massa do resíduo obtido após a exposição à mufla. Segue-se os procedimentos de (EMBRAPA, 2017):

Pesar 5g de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). pesar os cadinhos previamente colocados na mufla a 550 °C por 1 hora.

Pesar os solos e colocar nos cadinhos.

Colocar as amostras na mufla a 550°C por 4 horas (Figura 9).

Retirar da mufla e esfriar no dessecador.

Pesar as amostras após a queima.

O cálculo para encontrar a concentração de matéria orgânica nas amostras é realizado pela equação 2:

$$MO = \frac{MSs - Mr}{MSs} \times 1000 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

MO= concentração de matéria orgânica do solo , em g kg⁻¹; MSs= massa do solo(TFSA), em g;

Mr= massa do resíduo após a exposição à mufla, em g;

Os dados de matéria orgânica incrementada nos solos foram submetidos à análise estatística entre os tratamentos.

Figura 9: Ensaio de carbono total



Foto: autor (4 out. 2023)

4.5 Análise de Sementes utilizadas

As sementes foram adquiridas em agropecuária local; Marca: Nuseed. Como características tem-se: alta proporção de folhas; menos lignina; não sensível ao fotoperíodo; superior nos cultivos tardios ou safrinhas; altíssima qualidade; maior aproveitamento de energia e proteína; superior às demais cultivares e espécies em implantação após dezembro.

Teste de germinação: Foram analisadas dois lotes de sementes de sorgo, primeiramente, fez-se a assepsia das sementes com solução de hipoclorito de sódio a 10% por um minuto e depois com álcool comercial por cinco minutos. Logo após, procedeu-se a assepsia dos materiais utilizados, utilizando 10 sementes em cada placa petri. O peso aferido das sementes foi multiplicado por dois e o resultado obtido foi a quantidade de água destilada utilizada.

4.6 Ensaio de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

As amostras de solo foram submetidas a análises por espectrometria de fluorescência de raios-x [Brukere, S1 Turbo^{SD} LE].

A Espectrometria de Fluorescência de raios-X é uma técnica analítica poderosa para analisar elementos presentes em solos. Ela permite identificar e quantificar elementos químicos como potássio, cálcio, ferro, entre outros, auxiliando na compreensão da composição e nutrição do solo, além de monitorar possíveis contaminações. Esse método é útil em estudos agrícolas e ambientais, permitindo avaliar a saúde das plantas e a qualidade do solo. Foi colocado cada uma das amostras de solo no porta-amostras e então foram submetidos à excitação através da emissão de raios-x característicos de fluorescência, assim, foi determinado quantitativamente elementos com número atômico maior que 12 (Giusti, 2017). Os dados permitiram analisar o percentual de equivalência dos elementos para os solos da área da pilha estéril e da Unipampa, para que assim fosse possível estabelecer uma relação comparativa do desenvolvimento ecofisiológico com a abundância ou escassez de determinado elemento no sistema.

4.7 Análise morfológica das plantas

A altura das plantas está relacionada com seu porte, sendo influenciado diretamente pelo fotoperíodo e temperatura, e o primeiro estágio é determinante para a quantidade de matéria seca final (Cesar, 2008), portanto imprescindíveis para o sucesso da recuperação de área degradada, por isso, foi feito um acompanhamento do número de folhas, altura e crescimento de raízes, aos 30 dias e depois aos 60 dias após plantio, medidos com régua milimetrada. Além disso, foram inferidas as prováveis correlações entre as variações de tonalidades das

folhas e crescimento das raízes com os elementos detectados no ensaio descrito anteriormente.

5 Resultados e Discussão

5.1 Germinação de sementes

O objetivo foi determinar o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, o qual pode ser usado para comparar a qualidade de diferentes lotes e também estimar o valor para semeadura em campo. As sementes foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 2%, lavadas e posteriormente acondicionadas em placas petri entremeadas por algodão em substituição ao papel germiteste e umedificadas. Assim, foram feitos testes para dois tipos de sementes, a primeira não teve germinação e a segunda, escolhida, teve como resultado 90% de germinação (Figura 10). Assim, a primeira foi descartada e utilizada somente a segunda. Deve-se observar, conforme (LAS/UFSM, 2023), que a realização deste teste em condições de campo é geralmente insatisfatória porque os resultados nem sempre são reproduzidos fielmente, dadas as mudanças nas condições ambientais.

Figura 10: Resultado do teste de germinação.



Fonte: Autor

5.2 Caracterização do solo e acompanhamento do desenvolvimento

Na Tabela 3, são apresentados os resultados do ensaio realizado por espectrometria de fluorescência de raios-x. Vale destacar que é uma análise indispensável para quem busca caracterizar materiais, a partir dos elementos constituintes e de forma ágil. Após a realização, os resultados quantitativos dos elementos de interesse ao estudo foram translocados para uma nova tabela, elencados os elementos na primeira coluna, com o intuito de explicitar a relação percentual (quarta coluna) entre os solos da pilha de estéril (segunda coluna) e o solo da Unipampa (terceira coluna), e os possíveis efeitos de deficiência correlatos observados nas plantas de sorgo dos diferentes tratamentos. Na lista de elementos, foram delimitados todos macronutrientes essenciais, os micronutrientes, presentes no estudo primordial. Os últimos, conforme descritos por Kirkby e Romheld, (2007), são de suma importância para a sanidade das plantas e esses nutrientes têm posição de destaque nas pesquisas biológicas nas quais o sistema solo-planta é de especial interesse.

Tabela 3: Ensaio de Espectrometria por Fluorescência de Raios-X

Elemento	Concentração (ppm) Solo pilha estéril	Concentração (ppm) Solo Unipampa	Diferença Percentual Inicial: P.E. Final: Unip.
Óxido de Potássio K ₂ O	903,00	4400,00	-387,26%
Óxido de Magnésio MgO	100000,00	77000,00	23,00%
Cloro Cl	1710,00	1770,00	-3,51%
Óxido de Ferro Fe ₂ O ₃	7880,00	20600,00	-161,42%
Óxido de Manganês MnO	276,00	111,00	-59,78%
Óxido de Cálcio CaO	227000,00	1780,00	-99,22%
Óxido de Alumínio Al ₂ O ₃	30500	66400	117,70%

Fonte: Autor

Os elementos: potássio, cálcio, magnésio são macronutrientes essenciais. No solo da pilha de estéril, houve uma redução drástica de potássio comparativamente ao solo da Unipampa. Esse resultado merece destaque pois o potássio tem como principal função melhorar a resistência, em condições adversas como baixas temperaturas e secas. Ele é responsável pelos níveis de água nas plantas fazendo a regulagem hídrica pelos estômatos. Dessa forma, sua carência

pode estar associada à morte de algumas plantas pelo excesso hídrico, que acometeu a região em decorrência de chuvas potencializadas pelo fenômeno *El Niño*. Recomenda-se proceder uma adubação para que este mineral atinja patamares de efetividade e reflita maior eficiência protetiva para restauração. É importante ressaltar, que quando a quantidade de água no solo é superior a capacidade de absorção das plantas por longos períodos pode potencializar doenças, prejudicar o metabolismo, afetar a qualidade dos grãos ou ocasionar a morte, pois falta oxigênio no solo, talvez, seja essa a explicação mais plausível para a resposta ilustrada na (Figura 16). O cálcio tem função de ativador enzimático e responsável pela estabilidade fisiológica e estrutural dos tecidos, seu excesso pode ter relação com a inibição de absorção de íons ferro e manganês vide gráfico (Figura 12). O magnésio é crucial para a formação da clorofila, o maior percentual (23%) deste elemento na pilha de estéril pode implicar a baixa significativa de potássio (-387,26%) frente ao solo da Unipampa.

Os elementos: cloro, ferro e manganês são micronutrientes essenciais. O cloro contribui com a regulação osmótica e troca de cátions, não há diferença percentual significativa no comparativo entre os dois solos. Para o Ferro, a biodisponibilidade de (161,42%) menor para o solo da pilha estéril em relação ao da Unipampa tem relação direta com o aumento do potencial de hidrogênio (Figura 12%), a sua deficiência afeta inicialmente o desenvolvimento e função do cloroplasto, ocasionando a clorose, perceptível no tratamento de solo com 100% de rejeito ou solo da pilha estéril (Figura 14). Entretanto, essa condicionante também pode ter correlação com o manganês que em baixa quantidade pode causar prejuízo ao cloroplasto, desorganizando seu sistema lamelar e provocando sintomas de cloro, a proporção de (59,78%) na pilha de estéril, não fortalece essa hipótese, pois, os sintomas também deveriam ser observados nas plantas do solo da Unipampa.

O alumínio é um micronutriente não essencial e pode estar relacionado ao prejuízo às plantas de sorgo. Nessas, há um gene presente, denominado AltSB, que condiciona a tolerância ao alumínio. Este gene é um transportador de ácido orgânico. A maior expressividade desse gene é no ápice das raízes, onde encontra-se a maior quantidade de citrato (De Menezes, 2016). Desse mecanismo surge a tolerância ao alumínio e, portanto, observa-se que mesmo com o solo da unipampa respondendo por 117,11% a mais de óxido de alumínio do que do solo estéril, esse solo não apresentou efeito restritivo ao crescimento das raízes (Figura

11). Pelo contrário, a biodisponibilidade do óxido de potássio 387,26% superior ao solo da pilha de estéril pode ter corroborado para o melhor desempenho radicular, já que o potássio é um macronutriente essencial.

Figura 11: Plantas de sorgo dos tratamentos, 1º, 3º, 4º e 2º



Fonte: Autor

Nessa aferição, realizada dia 60 dias após o plantio, não foi observado diferença significativa entre a altura das plantas, todas apresentavam média próxima a 30 cm. Porém, as raízes secundárias tiveram desempenho crescente conforme a diminuição do quantitativo de solo vindo da pilha de estéril ou, talvez, decorrente do aumento do percentual de matéria orgânica.

Os dados de teor de umidade do solo são apresentados na (Tabela 4):.

Tabela 4: Teor de umidade

SOLO	MASSA CADINHO (g)	MASSA SOLO (g)	MASSA (CADINHO + SOLO SECO) (g)	MASSA SOLO SECO (g)	PERCENTUAL DE UMIDADE (%)
UNIPAMPA	32,2631	4,0968	36,2713	4,0082	21,36
ESTÉRIL	36,8733	5,0291	41,679	4,8057	4,44

Fonte: Autor

Em 14 dias após o plantio, observa-se (Figura 14) resposta positiva para brotação em todos os tratamentos, com destaque em desenvolvimento para as

plantas nas unidades compostas pelo solo da Unipampa, atribui-se tal fator a maior quantidade de matéria orgânica que aos demais.

Figura 12: Brotação em todas as unidades do experimento



Fonte: Autor

O solo de estéril apresenta menor perda ao fogo, o que estabelece uma quantidade estabelecida menor de dióxido de carbono e maior de óxido de cálcio (Moura, 2014). Após esse processo de calcinação na mufla, equipamento da (Figura 9), é notório o resultado (Tabela 5) que permite associar o solo da pilha de estéril com 41,76% de calcário e o solo da Unipampa com 1,72%, o primeiro pelo seu alto percentual com a correlação a atividade mineradora, e ainda, que no processo extrativo do calcário há uma ineficiência na mesma proporção.

Tabela 5: Análise do percentual de calcário por pedra ao fogo (1000°C)

SOLO	MASSA CADINHO (g)	DUR AÇÃ O (h)	MASSA SOLO (g)	MASSA (CADINHO + SOLO SECO) (g)	MASSA SOLO SECO (g)	MASSA CALCÁRIO REMANESCENT E (g)	PERCENTUAL DE CALCÁRIO (%)
UNIPAMPA	34,5364	2	5,0079	38,0919	3,5655	1,44	1,72
ESTÉRIL	36,0542	2	5,0941	38,8305	2,7763	2,32	41,76

Fonte: Autor

O percentual de matéria orgânica (Tabela 6) tem correlação direta com o maior sucesso na atividade recuperadora, tanto inicialmente na tentativa de revegetação quanto nas fases sucessionais ecológicas, porque há uma vinculação direta à fertilidade do solo. Além disso, um dos benefícios diretos da revegetação com as plantas de sorgo é propiciar a incorporação desta matéria orgânica, seja através das raízes ou pela palhada.

Tabela 6: Percentual de matéria orgânica

SOLO	MASSA CADINHO (g)	DURAÇÃO (h)	MASSA SOLO (g)	MASSA (CADINHO + SOLO) APÓS QUEIMA (g)	MASSA SOLO APÓS QUEIMA (g)	DIFERENÇA MASSA (g)	PERCENTUAL DE (MATÉRIA ORGÂNICA + UMIDADE) (%)	PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA (%)
UNIPAMPA	34,5264	4	5,0079	38,1543	3,6279	1,38	27,56	6,25
ESTÉRIL	36,0542	4	5,0941	40,8225	4,7683	0,3258	6,40	1,96

Fonte: Autor

Conforme ocorre o aumento do pH (Tabela 7) existe uma correspondência decrescente do grau de disponibilidade de íons de ferro (Figura 13), isso pode ter enfraquecido o tom verde das folhas (Figura 14), pois o ferro é essencial para síntese de clorofila.

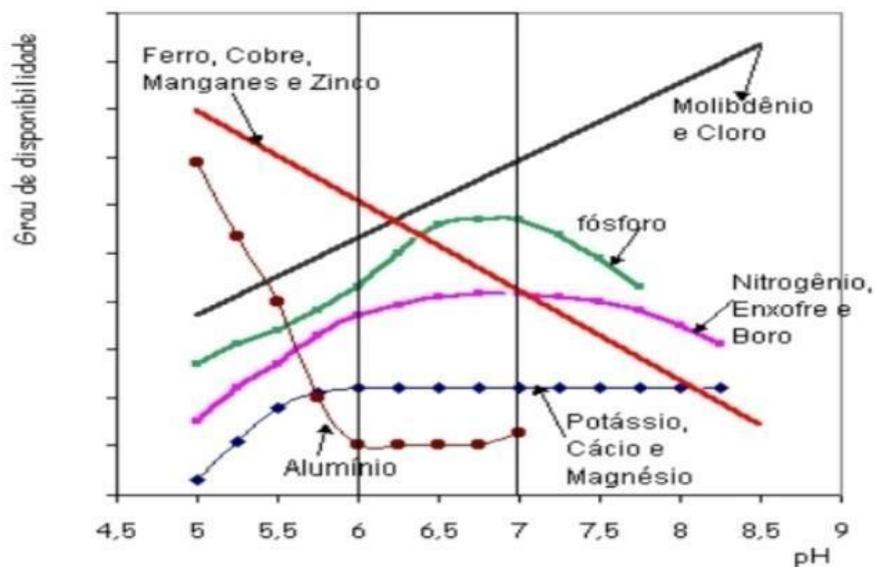
Tabela 7: Potencial de hidrogênio e teor de calcário

SOLO	pH	CONDUTIVIDADE E ELÉTRICA uS/s	MASSA (g)	CARBONATO DE CÁLCIO (mg/g)	TEOR CALCÁRIO (%)	RESÍDUOS (%)
UNIPAMPA	7,34	53,2	1,0017	10	1	99
ESTÉRIL	8,20	96,0	1,0785	1000	92,7	7,3

Fonte: Autor

O potencial de hidrogênio é uma constatação da quantidade de íons, especificamente do hidrogênio carregados positivamente, talvez o maior potencial do solo da pilha de estéril do que o do solo da Unipampa tenha aumentado também o valor da condutividade (Tabela 7).

Figura 13: Influência do pH sobre a disponibilidade de nutrientes



Fonte: Malavolta, 1980.

De acordo com o gráfico, verifica-se que a disponibilidade de alguns nutrientes caem à medida que aumenta-se o pH, é o caso dos micronutrientes catiônicos. Deve-se ressaltar que estes mesmos nutrientes causam toxicidade às plantas caso sejam muito disponíveis (Malavolta, 1980). De suma importância para o desenvolvimento do sorgo, fósforo e nitrogênio sofre decréscimo significativo quando os valores de pH ultrapassam o 7, por isto, recomenda-se que haja uma adubação no plantio para alcançar melhores índices de produtividade.

Figura 14: Sorgo em solo 100% rejeito e em solo Unipampa



Fonte: Autor

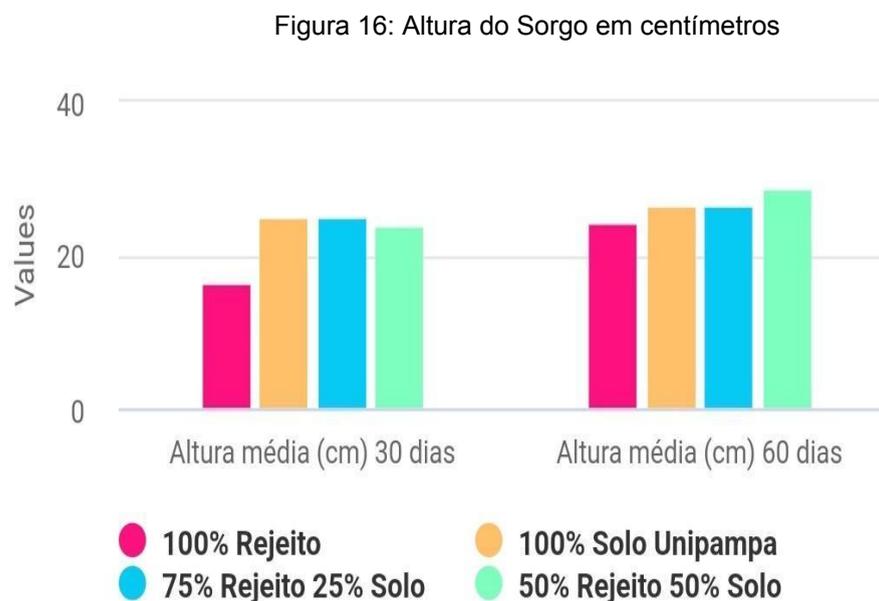
Com o plantio direto na pilha de estéril (*in situ*) foi possível estabelecer um cordão vegetal (Figura 15), prática conservacionista complementar, contribuindo para a sustentação do solo através do vertiginoso crescimento radicular e aéreo, além de diminuir os efeitos da erosão eólica e pluvial.

Figura 15: Cordão vegetal



Fonte: Autor

Do contraponto entre os experimentos houve inicialmente uma correlação de sucesso quanto ao desenvolvimento das plantas, conforme observa-se no gráfico do experimento realizado no laboratório não há variação significativa quanto a altura das plantas (Figura 16):



Fonte: Autor

No entanto, o experimento (*in situ*) em decorrência de intempéries locais, principalmente o excesso de chuva, sofreu seus efeitos, conforme observado na (Figura 17).

Figura 17: Planta de sorgo após estresse hídrico



Fonte: Autor

Há uma tolerância maior da planta do sorgo para o déficit hídrico do que para o excesso (Cesar, 2008). Logo, o fator de recuperação está sujeito às variações climáticas sazonais.

6 Considerações finais

A utilização da cultura do sorgo como cobertura vegetal para áreas degradadas de mineração de calcário mostrou-se promissora, com desenvolvimento consideravelmente rápido perante condições adversas de alto valor de potencial de hidrogênio e baixo teor de matéria orgânica. Soma-se, possíveis benefícios econômicos na colheita de grãos, fazendo com que esses cordões vegetais possam estender-se como alternativa a produtores agrícolas na recuperação de outras áreas desafiadoras, em relevos íngremes e áreas com solos empobrecidos, por exemplo. No entanto, deve-se atentar para que nessas regiões não exista embolsamento de água e propicie boa drenagem, ao contrário do que ocorreu no topo da pilha de estéril, excesso hídrico após evento de chuvas intensas, ocasionando perceptível prejuízo ao projeto.

O estabelecimento do comparativo entre os experimentos *in situ* e *ex situ* permitiu uma análise sobre a pressão do fator de controle dos efeitos climáticos. Dessa forma, para o experimento *ex situ*, distinguem-se diferentes desenvolvimentos radiculares para as variadas proporções de composição de solo, depreende-se que na medida em que há aumento da matéria orgânica, há resposta proporcional ao crescimento das raízes secundárias. Ainda, observa-se que as folhas jovens possuem uma variação quanto a tonalidade do verde foliar, sendo visível tons mais claros nas plantas pertencentes ao solo 100% de estéril. Ainda, todos os tratamentos *ex situ* tiveram crescimento adequado, sem distinção do número de folhas e altura, em oposição, no experimento *in situ* houve um crescimento inicial adequado e após chuvas torrenciais, algumas plantas pereceram e boa parte foi extinta.

Na correlação entre o solo da pilha de estéril e o desenvolvimento das plantas de sorgo, constata-se que a escassez de matéria orgânica ligada ao potencial de hidrogênio pode ter efeito prejudicial na absorção ou na biodisponibilidade de certos nutrientes essenciais, inferindo-se como consequência o tom mais claro das folhas, o desenvolvimento radicular e o amarelamento da ponta de algumas folhas jovens.

Todavia, a facilidade e o baixo custo de implementação da recuperação de área com plantas de sorgo, vinculada a uma versatilidade funcional e econômica tornam essa estratégia uma alternativa promissora. Pelo ineditismo em áreas de

mineração de calcário, torna-se necessário mais estudos, a fim de diminuir os efeitos das vulnerabilidades reais. Considerando o excesso hídrico, uma das alternativas seria prover um controle de drenagem. Ainda, visando melhorar o desenvolvimento fisiológico das plantas, sugere-se uma análise mineralógica mais detalhada do solo, para aportar conforme a necessidade, um incremento de matéria orgânica inicial e de adubação de cobertura. Após essa etapa inicial, deve-se fazer o controle de plantas invasoras e valer-se de espécies perenes locais para a sucessão.

7 Referências

AFREAKA, P. **Dolo, a cerveja tradicional de Burkina Faso**. 2014. Disponível em: <<http://www.afreaka.com.br/notas/dolo-a-cerveja-tradicional-de-burkina-faso/>>.

Acesso em: 28 nov. 2023.

AFREBRAS - DE BEBIDAS BRASILEIRAS, P. **5 bebidas ganenses de todos os tempos**. 2018 Disponível em:

<<https://afrebras.org.br/5-bebidas-ganenses-de-todos-os-tempos/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

ALVES, Meire de Cássia: **Caracterização funcional da região promotora do gene SbMATE e estratégias de engenharia genética para o aumento da tolerância ao alumínio em sorgo**. Tese de Mestrado. 2021. disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/38684/1/Tese%20de%20Doutorado_Versao%20Final_27102021_.pdf, acesso em 22 set. de 2023.

BAPTISTA, Candido Francisco de Avila. **Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais para o Sistema de Gestão Ambiental Proposto pela NBR ISO 14001:2004 – Estudo de Caso Mina do Mangueirão, Caçapava Do Sul, RS**. 2015

BENNET, R.J., BREEN, C.M. **The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance**. Plant and Soil, Netherlands, v.134, p.153-166, 1991.

BRANCHES, André Miranda Brito. **ANÁLISE DA FITORREMEDIAÇÃO COMO MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO:**

Estudo do aguapé (Eichhornia crassipes) como hiperacumuladora de metais pesados. MARABÁ 2010. Disponível em:

<https://repositorio.unifesspa.edu.br/bitstream/123456789/366/1/TCC_An%C3%A1lise%20da%20fitorremedia%C3%A7%C3%A3o%20como%20m%C3%A9todo.pdf>.

Acesso em: 21 nov. 2023.

BRITO, Sandra. Embrapa Milho e Sorgo: **Pesquisadores identificam genes no sorgo que potencializam a tolerância ao alumínio**, 18/12/18, disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40085327/pesquisadores-identificam-genes-no-sorgo-que-potencializam-a-tolerancia-ao-aluminio>, acessado em 08/09/23.

CARLOS, A. et al. Solos Ciríaca Arcangela Ferreira de Santana do Carmo Wilson Sant'Anna de Araújo. [s.l: s.n.]. **MÉTODOS DE ANÁLISE DE TECIDOS VEGETAIS UTILIZADOS NA EMBRAPA SOLOS**. Dez. 2010 Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62212/1/ Metodo-de-analise-de-tecido.pdf>>. Acesso em 23 out. 2023;

CARVALHO, Micaela. **Alimentos a base de sorgo** - Portal Embrapa. 2014. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1226001/alimentos-a-base-de-sorgo>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

CETESB - São Paulo. **Poluição das águas subterrâneas**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

CÉSAR, P. et al. **Cultivo do Sorgo**. 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35247/1/Ecofisiologia.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

COELHO, A. T. Pereira, A. R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. 2006. disponível em: <http://deflor.com.br/downloads/2-efeito_da_vegeta%c3%87%c3%83o_na_estabilida_de_de_taludes_e_encostas.pdf>. acesso em: 14 nov. 2023.

CONCEIÇÃO et al. **Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivada**, 2008.

CORNEJO, N. et al. **CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA FORMAÇÃO IRATI -REGIÃO DE PIRACICABA (SP)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20220208-112026/publico/NoronhaNorbertoCornejo.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2023.

CORRÊA LEÃO SILVA, M. R.; DIAS LOPES, M.; LOPES FERREIRA, R. **ANÁLISE DA GESTÃO AMBIENTAL DE UMA MINERADORA DE CALCÁRIO**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 3, p. 73, 30 set. 2020.

DE MENEZES, Cícero Beserra... [et al.]. **Resposta diferencial de cultivares de sorgo forrageiro para tolerância ao alumínio – Sete Lagoas** : Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 22 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 150).

DE SOUZA. LUCIANA ARNT ABICHEQUER ÍTALO GOMES GONÇALVES, R. G. F. R. O. N. L. E. **Metodologia de avaliação ambiental na análise de alternativas locais de pilhas de estéril**. file:///C:/Users/1801560449/Downloads/revistas,+Artigo+06+P%C3%A1gs.+80-97%20(1).pdf, p. 97, 2015.

MOURA, R. Dias. **Classificação do Calcário da Região do Cariri Oriental Paraibano Usado na Produção de Carbonato de Cálcio**. 2014. Universidade Estadual da Paraíba Centro de Ciências e Tecnologia Departamento de Química Industrial. Disponível em: <<https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3799/1/PDF%20-%20Rom%C3%A1rio%20Dias%20Moura.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2023.

DE MOURA, D. J. **Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração**. 2015 Disponível em:

<<https://monografias.brasilecola.uol.com.br/geografia/recuperacao-areas-degradadas-pela-mineracao.htm>>. Acesso em: 2 dez. 2023.

DOS SANTOS, J. P. **A influência das pilhas de estéril no resultado operacional das mineradoras.** Disponível em: <<https://saffengenharia.com.br/a-influencia-das-pilhas-de-esteril-no-resultado-operacional-das-mineradoras/>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Rio de Janeiro, 2017.

EMBRAPA, **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul** : safras 2017/2018 e 2018/2019 / LXII Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho; XLV Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Sorgo, Sertão, RS, 17 a 19 de julho de 2017. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 209 p.

FILHO, EDAR FERRARO, LUIDI ERIC GUIMARÃES ANTUNES, ARNALDO TIECKER, RAFAEL GOMES DIONELLO. **CONTROLE DE GORGULHO-DO-MILHO SUBMETIDO AO TRATAMENTO TÉRMICO**, REVISTA BRASILEIRA DE MILHO E SORGO: Vol. 10 No. 3 (2011)

EMBRAPA, **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** - Portal Embrapa. 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 20 dez. 2023.

FIGUEIREDO, Juliano P. EIA – **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO – FAZ TRINDADE – SÃO MAMEDE/PB.** 2018. Disponível em: <<https://sudema.pb.gov.br/consultas/downloads/arquivos-eia-rima/casa-grande/eia-casa-grande/13-plano-de-recuperacao-de-areas-degradadas.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

FILHO, Israel Alexandre Pereira, RODRIGUES, José Avelino Santos. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 327p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

FRANCA, P. **AS NOVAS NORMAS NBR ABNT 13.028 E 13.029 E SEUS EFEITOS NO SETOR MINERAL.** Disponível em: <<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/cmb-2017-sessao-plenaria-ii-paulo-ricardo-behrens-da-franca.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

GIUSTI, DIONATAN DANIEL. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA DIONATAN **DA TÉCNICA DE ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X POR ENERGIA DISPERSIVA NA INVESTIGAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS NO SOLO E SUAS RELAÇÕES EM LAVRAS DO SUL/RS.** 2017. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/3360/1/Dionatan%20Daniel%20Giusti%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

GOV. **Fome no Brasil piorou nos últimos três anos**, mostra relatório da FAO. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/fome-no-brasil-piorou-nos-ultimos-tres-anos-mostra-relatorio-da-fao>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Atlas Socioeconômico - Meio Ambiente - **Tipos de solos**, disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/solos>, acessado em 08/09/2023.

GOTTEMS, Leonardo. **Gene do sorgo pode afastar aves das plantações**. 2019. Disponível em: <<https://www.sucessonocampo.com.br/gene-do-sorgo-pode-afastar-aves-das-plantacoes/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

JUFFO, G. D. et al. **Intoxicação espontânea por Sorghum sudanense em bovinos leiteiros no Rio Grande do Sul**. Pesquisa veterinária brasileira [Brazilian journal of veterinary research], v. 32, n. 3, p. 217–220, 2012.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **MICRONUTRIENTES NA FISILOGIA DE PLANTAS: FUNÇÕES, ABSORÇÃO E MOBILIDADE**. International Plant Nutrition Institute. 2007 Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/%24FILE/Encarte-118.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2023.

LAS - Laboratório de Análise de Sementes, UFSM. **Teste de Germinação**. Disponível em: <<https://www.ufsm.br/laboratorios/sementes/servicos/teste-de-germinacao>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

LOPES, Tassiane. **Técnicas Utilizadas na Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Calcário no Município de Caçapava do Sul - RS**. 87p. 2016.

MACHADO, A.-A. W. **Alumínio nas plantas - Tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/aluminio-nas-plantas---tudo-o-que-voce-precisa-saber_470213.html>. Acesso em: 6 nov. 2023.

MAFRA, E. T. **Sorgo como alimento humano vai na contramão e renasce no campo**. 2022. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/10/sorgo-como-alimento-humano-vai-na-contramao-e-renasce-no-campo/>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MAGALHÃES, P.C.; RODRIGUES, J.A.S. **Fisiologia da produção do sorgo forrageiro**. In: **Produção e Utilização da Silagem de Milho e Sorgo**. EMBRAPA-CNPMS, p. 227-241, 2001.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 254p, 1980.

MARTIN, R.B. **Bioinorganic chemistry of aluminum**. In: **SIGEL, H., SIGEL, A. Metal ions in biological systems, v.24, Aluminum and its role in biology**. New York : Marcel Dekker, 1988. p.1-57.

MOLIN, J. P. et al. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223 p. Disponível em: . Acesso em:

MOLINA, L.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; RODRIGUES, .A.S.; FERREIRA, J.J. & FERREIRA, V.C.P. **Avaliação agrônômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Arq. Bras. Med. Veter. Zootec., 52:385-390, 2000.

PAVANI, Ana Maria Beltran. **Íon Metálico em Estudo: Alumínio(III)**. 2010. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16190/16190_4.PDF>. Acesso em: 30 out. 2023.

PETREIRE, Vanderlise Giongo(1), Jeonice Werla Techio(2), Flávio Luiz Bressa(3), Tony Jarbas Ferreira Cunha(4), Marcos Brandão Braga(5). **Estudos de Toxicidade de Alumínio em Genótipos de Soja e Milho Cultivados em Bioensaios**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo 2007.

PIASSA, Antonio Augusto Petruz. **Avaliação agrônômica de cultivares de sorgo biomassa**. 2016. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PINTO, A. P., Silva, L. R., & Aguiar, J. R. (2020). **Uso do sorgo para recuperação de áreas degradadas**: revisão bibliográfica. Revista de Ciências Agrárias, 63(2), 143-152.

PORTAL EMBRAPA. **Sorgo tem potencial para uso na alimentação do brasileiro**. 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18026215/sorgo-tem-potencial-para-uso-na-alimentacao-do-brasileiro>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

PREFEITURA CAÇAPAVA DO SUL. 2010. Disponível em: <<https://cacapavadosul.rs.gov.br/pagina/id/3/?dados-do-municipio.html>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

RAMBO, B. 1994. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**: Ensaio de Monografia. Natural 3ªed. Ed. UNISINOS, 473p. São Luis. Anais....São Luís: Prefeitura Municipal de São Luís, p,193-199, 1994.

RAMOS, Alberto W: **Delineamento de Experimentos**. 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5077717/mod_resource/content/0/3.DOE2018.pdf, acesso em: 22 set. 2023.

Reinaldo de Paula Ferreira, Adônis Moreira, Joaquim Bartolomeu Rassini. **Toxidez de alumínio em culturas anuais** . São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006.

RODRÍGUEZ, Y. B.; AGUILAR, I. G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. DE. **Utilização do malte de sorgo na produção de cerveja: revisão bibliográfica**. *Brazilian journal of food technology*, v. 21, n. 0, p. e2017198, 2018.

SANTOS, E. G. DOS et al. **Recuperação ambiental na disposição de estéril em mineração de calcário**. *Revista Monografias Ambientais*, v. 14, p. 14–32, 2015.

SANTOS, I. L. V. et al. **SORGOLEONE: BENZOQUINONA LIPÍDICA DE SORGO COM EFEITOS ALELOPÁTICOS NA AGRICULTURA COMO HERBICIDA**. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/FGNkrwq5LMtmBSNV57Pc5Mj/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 28 nov. 2023.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. **Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4, p. 787-796, 2000.

Sorghum Checkoff - **Investing in Sorghum Profitability**. Disponível em: <https://www.sorghumcheckoff.com/>>. Acesso em: 19 out. 2023.

SIQUEIRA, M. S.; **Matéria orgânica no solo: importância, manejo e construção**. 2020 Disponível em: <https://maissoja.com.br/materia-organica-no-solo-importancia-manejo-e-construcao/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

Silva, R. L. da ., Oliveira, A. M. de ., & Santos, J. E. dos . (2023). Impactos ambientais causados pela extração de calcário em comunidade rural do semiárido potiguar. *Interações (Campo Grande)*, Disponível em: <https://doi.org/10.20435/inter.v24i3.3563>, Acesso em 20 dez 2023.

SILVÉRIO, Patrícia Chiara. **Níveis de cloreto presentes no sorgo biomassa em função de fontes de adubação potássica e épocas de colheita.** 2017.

SPONCHIADO, S. et al. **Potencial da utilização do sorgo biomassa para a recuperação de lavras garimpeiras abandonadas na divisa do Mato Grosso com o Pará.** 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149831/1/Potencial-utilizacao.pdf>>, acesso em 19/10/23.

STEIN, Mariana. **Avaliação do controle de erosão em taludes de mineração de areia quando recuperados com diferentes coberturas vegetais e geotêxtil - experimento de campo.** 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235022>, acesso em 21/11/2023.

VIEIRA QUEIROZ, V. A. et al. **Sorgo para Alimentação Humana.** 2021. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138347/1/Cap-16-Sorgo-para-alimentacao-humana.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ZWEYTICK, G.; BERGHOFER, E. **Production of gluten-free beer.** In: GALIAGHER, E. (ed.). *Gluten-free food science and technology.* Hoboken: Willey-Blackwell, 2009.