

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JULIA LISBOA BERNARDI

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE EMPREGO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES COMO CORRETIVO DE SOLO AGRÍCOLA

ERECHIM – RS

2020

JULIA LISBOA BERNARDI

**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE EMPREGO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES COMO CORRETIVO DE SOLO AGRÍCOLA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico,
Departamento das Engenharias e Ciências
da Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

Orientador: Dr. Rogério Marcos Dallago

ERECHIM – RS

2020

JULIA LISBOA BERNARDI

**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE EMPREGO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES COMO CORRETIVO DE SOLO AGRÍCOLA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico,
Departamento das Engenharias e Ciências
da Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

Erechim, ____ de _____ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago (Orientador)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

Profa. Dra. Juliana Steffens (Banca Examinadora)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

Prof. Dr. Rogério Luis Cansian (Banca Examinadora)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Gilberto Jorge Bernardi e Tânia Maria Lisboa Bernardi, por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões e por sempre acreditarem que essa conquista seria possível.

À minha Irmã Daniela, por toda caminhada juntas e por toda ajuda e apoio sempre, a minha tia Claudia Lisboa por todo incentivo e ao meu primo Bruno Lisboa Krebs, por ser inspiração e exemplo de profissional para nossa família.

Ao meu namorado Leandro Lopes Tizoco, por toda ajuda e incentivo, por estar ao meu lado me dando todo apoio, amor e suporte, essa conquista é sua também.

Ao meu orientador Rogério Marcos Dallago pela oportunidade, confiança e por todas as contribuições durante esse período, por ser exemplo e inspiração para a minha vida.

Ao Professor Jardes Bragagnolo, Marcos Luis Salvador e Júlio Cesar Bracher por toda ajuda com as análises.

À minha professora Raquel Brusco Machado por ter sido fundamental na minha escolha profissional.

Às minhas amigas Andressa Franco Denti e Gabriela de Bastos, por todos esses anos juntas, por toda ajuda, pela grande amizade e conhecimentos compartilhados.

À Carolina Oro, Bruna Saorin Putton e Raíza Mesquita pela oportunidade de trabalhar e conhecer vocês, por me ensinarem tudo que precisei durante a graduação, pela amizade, por toda ajuda.

À Ilizandra Aparecida Fernandes, pela amizade e por todo conhecimento compartilhado.

À todos os professores do curso, por toda a dedicação, por todos os ensinamentos e por todo auxílio e carinho e aos meus colegas e amigos dos Laboratórios 9.36 e 9.08.

Ao Professor Rogério Luis Cansian, por todas as oportunidades e ensinamentos durante a graduação.

Agradeço a todos que não citei, mas que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho. Sou muito grata a todos, pela oportunidade, apoio e carinho. Essa conquista é por todos vocês. Vou leva-los sempre no coração. Muito obrigada.

“Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a fazer.”

(Alan Turing)

RESUMO

Um dos grandes problemas encontrados na agricultura está relacionado com a alta acidez dos solos. Por conta das características dos solos brasileiros, a correção do pH faz-se necessária para que haja uma melhoria da produtividade agrícola. Com o aumento do pH, há a elevação dos teores de nutrientes básicos e a insolubilização simultânea de outros que podem ser tóxicos para as plantas a serem cultivadas. Neste contexto, o produto mais empregado é o calcário. Outros compostos, como o gesso agrícola, um subproduto da produção de ácido fosfórico tem sido empregado com frequência. Nesta lógica, o subproduto gerado na produção da calda sulfocálcica, por apresentar em sua composição elevadas quantidades de enxofre e cálcio, além de outros nutrientes em menor quantidade e uma alcalinidade elevada apresenta-se como um composto em potencial para a sua aplicação em solo agrícola, por conta dos benefícios que o mesmo pode oferecer ao solo e as plantas. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi realizar a avaliação da potencialidade de aplicação do resíduo sólido proveniente de uma indústria de produção de fertilizantes associado ao calcário, como corretivo de solo agrícola. Com base no estudo, observou-se que quanto menor o teor de calcário empregado nos tratamentos, menor foi o poder de correção da acidez do solo. O comprimento e massa seca das plantas encontram-se dentro dos padrões desejados para colheita e em relação aos teores de micro e macronutrientes extraíveis do solo e do tecido vegetal, em ambos os casos, alguns nutrientes apresentaram-se em excesso, o que mostra a necessidade de estudos mais aprofundados para que o mesmo só beneficie o solo com os nutrientes em sua composição, sem que sejam disponibilizados em excesso para as culturas para que não haja prejuízos no desenvolvimento das mesmas.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Acidez do solo. Tratamento de resíduos.

ABSTRACT

One of the major problems encountered in agriculture is related to high soil acidity. Due to the characteristics of Brazilian soils, pH correction is necessary to improve agricultural productivity. With the increase in pH, there is an increase in the levels of basic nutrients and the simultaneous insolubilization of others that can be toxic to cultivated plants. In this context, the most used product is limestone. Other compounds, like plaster agricultural, a by-product of phosphoric acid production have been used frequently. In this logic, the by-product generated in the production of the sulfocalcic syrup, as it contains high amounts of sulfur and calcium in its composition, in addition to other nutrients in lesser quantities, and to a high alkalinity, presents itself as a potential compound for its application in agricultural soil, due to the benefits it can offer to the soil and plants. Therefore, the objective of this study was to carry out an evaluation of the potential application of solid waste from a fertilizer production industry, associated with limestone, as a corrective for agricultural soil. Based on the study, it was observed that the lower the limestone content used in the treatments, the lower the power to correct soil acidity. The length and dry mass of the plants are within the desired standards for harvesting and in relation to the levels of micro and macronutrients extractable from the soil and plant tissue, in both cases, some nutrients were in excess, which shows the need for more in-depth studies so that it only benefits the soil with the nutrients in its composition, without being made available in excess to the crops so that there is no damage in their development.

Keywords: Solid waste. Soil acidity. Waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Avaliação do comprimento da parte aérea da planta.	29
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do resíduo industrial bruto que foi fornecido pela Indústria.	18
Tabela 2- Planejamento experimental para os testes do resíduo como aditivo do calcário.....	21
Tabela 3 - Teor de argila (%) de amostras de solos e respectivos valores de leitura do densímetro.	24
Tabela 4 - Caracterização do resíduo após processo de secagem em relação ao seu pH e solubilidade em água.	33
Tabela 5 - Média do teste de germinação de sementes de soja do cultivar TMG 7262 em papel Germitest.	34
Tabela 6 - Caracterização química do solo, antes da implantação do experimento.	35
Tabela 7 - Análise de comprimento, massa verde e seca da soja do cultivar TMG 7262 após 60 dias de cultivo.	36
Tabela 8 - Análise dos nutrientes encontrados na soja do cultivar TMG 7262 após 60 dias de cultivo.	37
Tabela 9 - Análise dos nutrientes presentes no cultivar analisado após 60 dias de cultivo.....	37
Tabela 10 - Teor de argila, matéria orgânica, pH e índice SMP presente no solo após o tratamento com resíduo como aditivo do calcário.....	39
Tabela 11 - Calagem recomendada com calcário (PRNT 100%) baseado nos valores do índice SMP, para a correção da acidez dos solos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.	41
Tabela 12 - Análise de nutrientes após o tratamento com resíduo como aditivo do calcário. .	42
Tabela 13 - Análise de nutrientes, alumínio trocáveis e acidez potencial após 60 dias de tratamento do solo.	43
Tabela 14 - Interpretação dos teores de micronutrientes existentes no solo.	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Classificação dos Resíduos Industriais	14
3.2 Fertilizantes e o Setor Agrícola.....	14
3.3 Correção da Acidez do Solo	15
3.4 Calda Sulfocálcica	16
3.5 Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Materiais	18
4.1.1 Resíduo	18
4.1.2 Solo	19
4.1.3 Sementes	19
4.2 Métodos Experimentais	19
4.2.1 Caracterização do Resíduo.....	19
4.2.2 Secagem e moagem do Resíduo	19
4.2.2 pH.....	19
4.2.3 Solubilidade do resíduo em água	20
4.3 Ensaio de germinação das sementes de soja	20
4.4 Avaliação do efeito da aplicação do resíduo como corretivo do solo	21
4.5 Caracterização química do solo	22
4.5.1 Boro.....	22
4.5.2 Argila	23
4.5.3 Matéria Orgânica	24

4.5.4 Cálcio, magnésio, manganês e alumínio trocáveis (KCl)	25
4.5.4.1 Determinação do teor de cálcio e magnésio	25
4.5.4.2 Determinação do teor de manganês	26
4.5.4.3 Determinação do teor de Alumínio.....	26
4.5.5 Potássio, Fósforo, Cobre e Zinco (Mehlich).....	26
4.5.5.1 Determinação do teor de Potássio.....	26
4.5.5.2 Determinação do teor de Fósforo.....	27
4.5.5.3 Determinação dos teores de Cobre e Zinco	27
4.5.6 Enxofre.....	27
4.5.7 Índice SMP, pH do solo e do resíduo da indústria de fertilizantes	28
4.6 Comprimento da parte aérea, massa verde e seca da planta	28
4.7 Nutrientes do tecido vegetal	29
4.7.1 Determinação do teor de nitrogênio.....	30
4.8 Determinação do teor de enxofre, sódio, cobre, zinco, manganês e ferro no tecido vegetal.....	30
4.8.1 Teor Ferro	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 pH do resíduo bruto e solubilidade em água.....	32
5.2 Teste de germinação	33
5.3 Análise do solo.....	35
5.4 Comprimento, massa verde e seca da parte aérea da planta	35
5.5 Análise dos nutrientes do tecido vegetal.....	37
5.6 Análise do solo após 60 dias da adição do resíduo como aditivo do calcário	38
6. CONCLUSÃO.....	46
7. BIBLIOGRAFIA	47

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas encontrados na agricultura é a alta acidez do solo, e em função das características do solo brasileiro, a aplicação de fertilizantes é precedida da correção do pH da área fertilizada, que proporciona um aumento na taxa de absorção de nutrientes pelas plantas (BRANCO, et.al 2013, CRUZ; PEREIRA; FIGUEREDO, 2017).

Os fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, de origem natural ou sintética, que possuem a capacidade de fornecer às plantas um ou mais nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento (BRASIL, 1982).

Nos últimos anos, a quantidade e a variedade de resíduos gerados em função do acelerado avanço industrial têm tido um aumento significativo, causando graves problemas ao meio ambiente. Objetivando a redução dos custos relacionados à disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários e em função do aumento dos custos dos fertilizantes comerciais, o uso desses resíduos em solo agrícola tornou-se uma alternativa atrativa, tanto do ponto de vista ambiental, quanto do ponto de vista econômico. Dessa forma, estudos que buscam métodos seguros, viáveis e eficientes na correção do pH do solo, tem crescido significativamente ao longo dos anos (MESQUITA, 2002; BRANCO, et al. 2013).

Segundo Medeiros et al. (2009), o emprego de resíduos sólidos em solo agrícola depende de alguns fatores, tais como as características químicas do resíduo, relacionadas ao seu processo de produção, além dos atributos do próprio solo, como o pH, por exemplo. Nesse contexto, destaca-se o resíduo gerado no processo de fabricação da calda sulfocálcica, o qual é um sulfurado inorgânico. Esse resíduo apresenta uma quantidade significativa de macronutrientes como o cálcio e enxofre em sua composição e por conta da sua alta alcalinidade, torna-se um resíduo atrativo para aplicação como corretivo de solo agrícola.

A proposta de aplicação do resíduo sólido proveniente da produção da calda sulfocálcica em solo agrícola atende as recomendações da política nacional de resíduos sólidos, Lei Federal nº 12.305/2010, que apresenta diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, estimulando processos de reaproveitamento de um resíduo, antes do seu descarte final, para que somente após o término do seu ciclo, este resíduo seja tratado, como um rejeito, e um destino ambientalmente adequado seja dado a ele. Destaca-se a seguinte ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento destes resíduos: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos e a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010; ORO, 2018).

Além disso, técnicas de beneficiamento de subprodutos e a utilização dos mesmos para o aperfeiçoamento de um processo já conhecido ou até mesmo na elaboração de um novo produto, possibilitam a conversão dos custos relacionados ao tratamento e descarte de resíduos e subprodutos, em ganhos ambientais e econômicos para uma empresa (ORO, 2018).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade de aplicação do resíduo sólido proveniente do processo de produção de calda sulfocálcica como corretivo de solo agrícola.

2.2 Objetivos Específicos

Na realização do projeto, além do aprofundamento teórico através da revisão bibliográfica e com base no objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- Avaliar a aplicação do resíduo sólido em solo agrícola como aditivo do calcário;
- Realizar a caracterização química do resíduo e avaliar sua solubilidade em água;
- Caracterizar o solo;
- Avaliar o efeito deste resíduo na germinação de sementes de soja;
- Avaliar a parte aérea da planta modelo em relação a sua massa verde, seca e comprimento e nutrientes do tecido vegetal;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Classificação dos Resíduos Industriais

Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010, resíduos industriais são todos aqueles provenientes de processos produtivos ou de instalações industriais (BRASIL, 2010) e conforme a ABNT NBR 10004/2004, a sua classificação varia de acordo com os seus constituintes e características que são inerentes ao processo que os originou. A comparação dos componentes presentes no resíduo é realizada por meio de listagens de resíduos e substâncias onde o impacto ao meio ambiente já é conhecido. Ainda de acordo com a norma, os resíduos podem ser classificados como resíduos Perigosos (Classe I), e Não Perigosos (Classe II).

Os resíduos Classe I são todos aqueles que devido a suas particularidades apresentam algum risco a saúde pública e ao meio ambiente se gerenciados de forma inapropriada. Nesse sentido, enquadram-se nesta definição todo resíduo que apresentar alguma das seguintes características de periculosidade especificadas na Norma: Inflamabilidade; Corrosividade; Toxicidade; Reatividade e Patogenicidade. Já os resíduos Classe II podem ser subdivididos em Não Inertes (Classe II A), resíduos que apresentam propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água e em Inertes (Classe II B), qualquer resíduo que, quando amostrado de forma representativa, conforme a ABNT NBR 10007, apresentar após contato dinâmico e estático com água destilada a temperatura ambiente, baixa solubilidade de seus compostos em concentrações acima dos padrões de potabilidade de água, com exceção de aspectos de cor, turbidez, sabor, entre outros (ABNT, 2004).

3.2 Fertilizantes e o Setor Agrícola

Os fertilizantes são substâncias que fazem a reposição dos nutrientes removidos pelas plantas ou adicionam compostos indispensáveis aos solos nativos com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola (SHREVE, 2012; RODRIGUES et al., 2015). Segundo Goedert (1981) e Paulo; Serra (2015), os fertilizantes apresentam-se como um dos insumos agrícolas mais relevantes na economia nacional.

A indústria de fertilizantes está fortemente ligada ao agronegócio e por possuir um enorme potencial agrícola, o Brasil é um dos principais consumidores de fertilizantes (BNDES, 2012).

Segundo o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2006), os elementos químicos que fazem parte da composição dos fertilizantes podem ser divididos em duas categorias distintas, de acordo com a sua quantidade ou proporção, em micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício e cobalto) e em macronutrientes (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre). Se o solo não possuir uma quantidade suficiente de qualquer um dos componentes mencionados, até mesmo aqueles minimamente necessários, o desenvolvimento e crescimento da planta poderá ser afetado (INACIO, 2013; BNDES, 2006).

As principais deficiências identificadas nos solos são as dos elementos químicos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Dessa forma, estes três macronutrientes são os principais componentes encontrados na composição dos fertilizantes NPK, cujas proporções variam de acordo com as características do solo e do tipo de cultivar (RODRIGUES et al., 2015).

3.3 Correção da Acidez do Solo

Grande parte dos solos brasileiros, especialmente os solos de cerrado, apresentam características ácidas, com baixos teores de cálcio e magnésio. Objetivando a melhoria da produtividade agrícola, a correção da acidez do solo faz-se necessária pois, com o aumento do pH, além da elevação dos teores de cálcio e magnésio, a disponibilidade de alguns nutrientes básicos é maior e simultaneamente a isso, há a insolubilização de outros que podem ser tóxicos para as plantas, como o alumínio e o manganês. Porém, a eficiência de aplicação de um corretivo está diretamente relacionada a forma de aplicação e dosagem/quantidade empregada, a qual é estimada por meio da composição do corretivo e da análise do solo (EMBRAPA, 2004).

Os materiais mais utilizados para a correção da acidez do solo agrícola são rochas calcárias moídas constituídas por uma mistura de minerais, normalmente calcita e dolomita compostas por carbonato de cálcio ou magnésio que apresentam baixa solubilidade em água. Em função da característica ácida do solo brasileiro, a utilização desses materiais antes da aplicação dos fertilizantes auxilia na correção (neutralização) do pH do solo para que haja

uma melhor absorção dos nutrientes pelas plantas (BNDES, 2006; WEIRICH NETO et al., 2000).

Segundo a Embrapa (2004), o calcário, obtido através da moagem de rochas calcárias, é o corretivo mais utilizado para a correção da acidez dos solos e sua característica neutralizante deve-se pela presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3) em sua composição. Além do calcário, outros materiais podem ser utilizados como corretivos agrícolas, como a cal virgem, obtida industrialmente pela calcinação completa do calcário, composta por óxido de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), a cal hidratada, entre outros.

Apesar a diversidade de materiais corretivos, o Brasil utiliza em maior quantidade o calcário por possuir uma boa eficiência e ser um recurso abundante no nosso país (EMBRAPA, 2004).

3.4 Calda Sulfocálcica

A calda sulfocálcica é um sulfurado inorgânico preparado a base de enxofre e óxido de cálcio (CaO), mais conhecido como cal virgem, cujo princípio ativo é o polissulfeto de cálcio (ANDRADE; PATTARO; OLIVEIRA, 2011).

Nesse processo de produção, um resíduo gerado em grande quantidade, ainda sem nenhum tipo de aplicação conhecida, contendo uma quantidade significativa de cálcio e enxofre, macronutrientes utilizados como matéria-prima na elaboração da calda sulfocálcica, tornando sua aplicação atrativa para uso em solo agrícola pois, além da sua alta alcalinidade, contém macronutrientes que podem ser benéficos as plantas em sua composição, justificando a sua aplicação como corretivo de solo agrícola, proposto neste estudo.

3.5 Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)

Grande parte dos solos do Rio Grande do Sul são ácidos. Essa característica é extremamente prejudicial para o desenvolvimento das culturas e afeta diretamente a produtividade nas lavouras, já que a maioria das plantas se desenvolvem melhor em solos cujo pH se encontra em uma faixa entre 6 e 7. Dessa maneira, a correção do solo se torna fundamental, melhorando as condições de crescimento radicular e melhorando também a absorção dos nutrientes disponíveis no solo e água. A calagem proporciona uma maior disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nutrientes que promovem um aumento na produtividade agrícola (UNIFERTIL, 2014).

A qualidade do corretivo depende principalmente das características químicas do produto, da quantidade dos compostos neutralizantes que o constitui, bem como suas características físicas como a granulometria, fator esse que afeta diretamente a velocidade de neutralização dos corretivos de acidez no solo. A capacidade de neutralização dos solos é conhecida como Poder de Neutralização (PN), enquanto a Reatividade (RE) estabelece o tempo necessário para que o corretivo reaja no solo e corrija sua acidez e depende do tamanho das partículas do mesmo. Entretanto, esses parâmetros não podem ser avaliados separadamente para a determinação da qualidade do produto (UNIFERTIL, 2014; CQFS-RS/SC, 2016). Dessa forma, a avaliação da eficiência de um corretivo é determinada pela combinação desses dois fatores, por meio do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) que pode ser calculado conforme a Equação (1).

$$PRNT (\%) = \frac{(PN \times RE)}{100} \quad (1)$$

A quantidade de corretivo a ser aplicada é determinada por meio de análises químicas do solo, sendo que sua falta ou aplicação excessiva também podem vir a causar danos ao desenvolvimento das culturas (UNIFERTIL, 2014; CQFS-RS/SC, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e procedimentos experimentais, bem como a metodologia analítica utilizada para o desenvolvimento do estudo que visa avaliar a potencialidade de emprego de um resíduo de uma indústria de fertilizantes como corretivo de acidez de solo agrícola. Todas as análises foram realizadas em triplicata ou em mais repetições e grande parte das análises foram conduzidas na área experimental do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, município de Erechim, RS, sendo o restante das mesmas conduzidas nos laboratórios do Campus I da universidade.

4.1 Materiais

4.1.1 Resíduo

O resíduo avaliado neste estudo foi cedido pela Indústria Sulfertilizantes Ltda., localizada no estado de Santa Catarina, cuja composição química do resíduo bruto foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X e espectrometria de absorção atômica, e encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do resíduo industrial bruto que foi fornecido pela Indústria.

Elemento	Teor (%)	Elemento	Teor (%)
Al₂O₃	0,35	TiO₂	<0,05
CaO	18,70	BaO	<0,1
Fe₂O₃	0,16	Co₂O₃	<0,1
K₂O	0,06	Cr₂O₃	<0,1
MgO	1,94	PbO	<0,1
MnO	<0,05	SrO	<0,1
Na₂O	<0,05	ZnO	<0,1
P₂O₅	0,15	SO₃	53,0
SiO₂	1,27	Perda Fogo	24,28

A perda por fogo está relacionada ao método de preparação da amostra para as análises da composição química do resíduo.

4.1.2 Solo

O solo empregado neste estudo foi coletado de uma área cultivada com erva-mate a mais de 15 anos nas proximidades do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, caracterizado por ser um solo com baixo pH e com a presença de alumínio livre (Al^{+3}). O tipo de solo encontrado no local da coleta é Latossolo Vermelho Aluminoférrico (EMBRAPA, 2013), típico do clima subtropical úmido. Para a coleta, o solo foi escavado em uma camada de 0-20cm e transportado até uma estufa de cultivo (TE-394/5, Tecnal) onde foi submetido a um processo de secagem ($60^{\circ}C$) até o momento do experimento.

4.1.3 Sementes e Calcário

As sementes de soja do cultivar TMG 7262 utilizadas neste estudo foram cedidas pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, bem como o calcário utilizado como aditivo do resíduo avaliado, com um Potencial Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 85%.

4.2 Métodos Experimentais

4.2.1 Caracterização do Resíduo

4.2.2 Secagem e moagem do Resíduo

Antes da aplicação do resíduo como aditivo do calcário, o mesmo foi submetido a um processo de secagem em estufa (320-SE, Fanem) a uma temperatura de $105^{\circ}C$, até peso constante. Ao final do processo de secagem, o resíduo foi moído em um moinho de facas do tipo Willey (TE-650, Tecnal) até a obtenção de fragmentos de diâmetro inferior a 0,5mm e armazenado em um recipiente de vidro até o momento dos experimentos.

4.2.2 pH

A determinação do pH do resíduo foi realizada conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e pela Rede oficial de análises de solo e tecido vegetal dos estados do RS e de SC (2019), seguindo também o método de análise de pH descrito pela ABNT NBR

10004/2004 para classificação de resíduos sólidos. Para tanto, 5g do resíduo previamente seco em estufa foi pesado em uma balança (AX200, Shimadzu) e diluído na proporção de 1:1 (resíduo:água). Após, a solução foi misturada e mantida em repouso por 30 min, sendo agitada novamente antes da leitura em pHmetro (DM-22, Digimed) previamente calibrado para a determinação dos valores de pH e posterior classificação do resíduo.

4.2.3 Solubilidade do resíduo em água

A solubilidade do resíduo foi avaliada através do método descrito por Cano-Chauca et al. (2005), com algumas modificações realizadas nos estudos de Yamashita et al. (2017). Para o ensaio, 0,5g do resíduo foi dissolvido em 50 mL de água destilada e agitado em um agitador magnético (752, Fisatom) sem aquecimento por um período de 30 min. Ao término desse período, a suspensão foi transferida para um tubo de centrífuga e o mesmo foi centrifugado a 3000 rpm durante 5 min. Após, uma alíquota do precipitado de 25 mL foi transferida para uma placa de petri pré-pesada. O conteúdo foi seco em estufa (320-SE, Fanem) a 105°C por 5h. Após o período de secagem, a placa contendo a amostra foi colocada em dessecador e posteriormente pesada novamente. O cálculo da porcentagem de solubilidade foi realizado conforme descrito pela Equação (2).

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{(\text{Peso da Placa} + \text{Amostra}) - (\text{Peso da Placa} + \text{Amostra após estufa})}{\text{Peso da amostra}} \right) \times 100 \quad (2)$$

4.3 Ensaio de germinação das sementes de soja

Os ensaios de germinação foram realizados com base na metodologia de Todero et al. (2018), as análises foram conduzidas em sementes de soja do cultivar TMG 7262. As sementes foram condicionadas em papel de germinação, tipo Germitest (Cienlab) 28x38 cm (2 folhas embaixo das sementes e 1 em cima) umedecido com água destilada em uma quantidade de aproximadamente 2,5 vezes o peso do papel, retirando-se o excesso de água com o auxílio de uma régua, para que ao término desse processo, o papel apresentasse um teor de umidade de aproximadamente 60%. Para cada tratamento foram utilizadas 50 sementes, em triplicata, constituindo assim, um ensaio.

Com a finalidade de realizar a avaliação da germinação dos grãos, dois tratamentos foram escolhidos: o tratamento denominado como Não Contaminado, apresentava 50

sementes de soja sem a adição do resíduo, já no tratamento denominado como Contaminado, as 50 sementes foram umedecidas com uma solução 4:1 (água:resíduo). Ao término deste processo, o papel de germinação que continha os grãos foi armazenado em sacos plásticos para que o teor de umidade pudesse ser conservado. Após, os sacos plásticos foram colocados em um germinador previamente regulado a uma temperatura de 25°C por um período de 5 dias de incubação. As sementes germinadas foram avaliadas visualmente em relação ao desenvolvimento da parte radicular e aérea e foram classificadas quanto ao seu vigor (alto, médio e baixo), e viabilidade, sendo classificadas como não viáveis as sementes que não apresentaram desenvolvimento ou apenas o desenvolvimento de uma das partes.

4.4 Avaliação do efeito da aplicação do resíduo como corretivo do solo

A avaliação da resposta a aplicação do resíduo como corretivo de acidez do solo foi realizada considerando-se a alcalinidade do resíduo em conformidade com as recomendações da CQFS-RS/SC (2016), as quais apresentam as orientações referentes a adubação e calagem do solo. Para a correção da acidez potencial do solo, estimou-se uma dose de 9,76 ton.ha⁻¹ de calcário com PRNT de 85%. Paralelamente, avaliou-se o efeito da dosagem na germinação e desenvolvimento sequencial do cultivar de soja TMG 7262. Para tanto, os ensaios foram conduzidos em vasos de 10 L, contendo 10 kg de solo, onde o resíduo associado ao calcário foi empregado, em diferentes proporções, considerando uma massa final equivalente a massa de calcário (PRNT 85%) empregada no ensaio referência (Ensaio 1). O resíduo juntamente com o calcário foi misturado em 40 kg de terra e após, dividido em porções de 10 kg em cada vaso. Para os ensaios, foram avaliados 6 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 24 vasos, com delineamento inteiramente casualizado (Tabela 2).

Tabela 2- Planejamento experimental para os testes do resíduo como aditivo do calcário

Ensaio	Calcário (g)	Resíduo (g)
1	200 (100%)	0 (0%)
2	175 (87,5%)	25 (12,5%)
3	150 (75,0%)	50 (25,0%)
4	100 (50,0%)	100 (50,0%)
5	50 (25,0%)	150 (75,0%)
6	0 (0%)	0 (0%)

A semeadura da soja do cultivar TMG 7262 foi realizada no dia 14/12/2019, sete dias após a aplicação do corretivo ao solo. Para cada vaso foram semeadas cinco sementes, sendo aplicado ao solo ao final do processo de semeadura, 2g de adubo comercial com um percentual de nitrogênio de 5%, 20% de fósforo e 20% de potássio. Após o estabelecimento das plantas, no dia 02/01/2020 o desbaste das sementes germinadas foi realizado para que ao final do processo restassem apenas três plantas por vaso e no mesmo dia, mais 2g de adubo comercial com NPK de 5.20.20 foram aplicadas ao solo.

Nos dias 08/01/2020 e 27/01/2020 foram feitas as aplicações dos fungicidas FOX[®]- Bayer S.A. e Unizeb Gold- UPL e inseticidas CONNECT[®] - Bayer S.A e ENGEO PLENO S – Syngenta nas dosagens recomendadas pelos fabricantes. A irrigação foi realizada durante todo o processo conforme a necessidade. Ao final do ciclo de cultivo de 60 dias, as plantas foram retiradas dos vasos, separadas em parte aérea e radicular e avaliadas quanto ao seu comprimento, massa verde e seca, e composição dos nutrientes do tecido vegetal.

4.5 Caracterização química do solo

A caracterização química do solo, realizada antes e após a aplicação do resíduo foi feita a partir da coleta de uma amostra de cada um dos vasos com o auxílio de um trado. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim, onde foram analisados os teores de argila, pH, índice SMP para o cálculo da acidez potencial estimada, matéria orgânica do solo, boro, fósforo, cálcio, potássio, magnésio e alumínio trocáveis, de acordo com as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e pela Rede oficial de análises de solo e tecido vegetal dos estados do RS e de SC (2019). Para as análises, o solo amostrado (antes e após os ciclos produtivos) foi seco em uma estufa de cultivo (TE-394/5, Tecnal) a uma temperatura constante de 60 °C por 48 h, e posteriormente triturado em moinho de martelos (TE-330, Tecnal), até a obtenção de fragmentos de diâmetro inferior a 2 mm.

4.5.1 Boro

As análises de teor de boro foram realizadas antes e após a aplicação do resíduo ao solo. Para tanto, 5 cm³ (5 mL) de solo de cada um dos tratamentos avaliados foram coletados com o auxílio de um cachimbo. Após a coleta, o solo foi diluído em água na proporção de 1:2 (solo: água) e submetido a um processo de agitação em vórtex (AP-56/1, Tecnal) por cerca de

1 min. Em seguida, as amostras foram digeridas em um bloco digestor (TE-007MP, Tecnal) por 9 min a 140°C e após o resfriamento das mesmas, adicionou-se ao meio 1 gota de ácido clorídrico 10%. Posteriormente, amostras foram centrifugadas (206 BL, Fanem) por 15 min a 2000 rpm. Em seguida, retirou-se 1 mL do sobrenadante que foi prontamente transferido para copos plásticos onde adicionou-se 2 mL de curcumina. As amostras foram submetidas a um processo de secagem a vapor em banho maria (TE-056 MAG, Tecnal) a uma temperatura de 55-65°C e após o resfriamento, 10 mL de etanol 95% foi adicionado ao meio. Após a adição do etanol, as amostras foram agitadas em vórtex por 5 min e deixadas em repouso por 30 min ao abrigo de luz. Ao final do processo, as leituras de absorbância das amostras e a determinação do teor de boro foram realizadas em espectrofotômetro UV-Visível (ESPEC-UV-5100, Tecnal) em 540 nm. O teor de boro disponível no solo expresso em mg/dm³ foi calculado com base na Equação (3), empregando como referência uma curva de calibração com padrões externos entre 0 até 0,05 mg L⁻¹ de boro, realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

$$B \text{ (mg/dm}^3\text{)} = \textit{Absorbância} \times Fc \times Fd \quad (3)$$

Onde: Fc é o valor do fator de concentração (declividade média da curva de calibração) e Fd é o fator de diluição das amostras.

4.5.2 Argila

Para a determinação dos teores de argila no solo amostrado, 10 cm³ de solo foram coletados com o auxílio de um cachimbo devidamente calibrado. Após a coleta, o solo foi transferido para um frasco do tipo *snap-cap* de 90 mL com tampa, onde foram adicionados 15 mL de hidróxido de sódio 0,167 mol/L. Após, as amostras foram deixadas em repouso por 24h e ao final desse período, adicionou-se ao meio 50 mL de água de osmose e uma esfera de vidro. Os frascos foram fechados e as amostras submetidas a um processo de agitação horizontal em uma mesa de agitação pendular (TE-240/1, Tecnal) por aproximadamente 2 h a 120 rpm. Feito isso, as amostras foram transferidas para tubos de decantação de PVC de 2,5 cm de diâmetro e 24 cm de comprimento, onde permaneceram em repouso por 2 h e 30 min. As leituras do teor de argila (%) foram feitas com o auxílio de um densímetro (558241, Incoterm) e as conversões dos valores foram realizadas conforme a Tabela 3. O fator de correção para a leitura do densímetro em função da temperatura do líquido foi estimado com

base na metodologia de Tedesco et al., (1995). As amostras que apresentarem temperatura entre 15,5 – 20,5°C, não sofrem alterações, em temperaturas entre 20,6 – 25,5°C adiciona-se uma unidade a leitura realizada e por fim, em temperaturas entre 25,6 – 30,5°C, somam-se duas unidades a leitura efetuada.

Tabela 3 - Teor de argila (%) de amostras de solos e respectivos valores de leitura do densímetro.

Leitura no Densímetro	Teor de argila (%)	Leitura no Densímetro	Teor de argila (%)
2	5	36	42
4	7	38	44
6	9	40	47
8	12	42	50
10	14	44	56
12	16	46	56
14	18	48	59
16	20	50	62
18	22	52	65
20	24	54	69
22	26	56	72
24	28	58	75
26	30	60	79
28	32	62	83
30	34	64	86
32	36	66	90
34	39	-	-

Fonte: Tedesco et al. (1995).

4.5.3 Matéria Orgânica

A análise do teor de matéria orgânica do solo é realizada visando a sua utilização para a recomendação de adubação nitrogenada de culturas em solo agrícola (CQFS-RS/SC, 2016). O método de determinação do teor de matéria orgânica é baseado na oxidação do carbono existente no solo, a partir da redução do cromo de uma solução sulfocrômica através do aquecimento das amostras. Para análise, 1 cm³ (1 mL) de solo foi coletado e transferido para um Erlenmeyer (50mL). Feito isso, adicionou-se 15 mL de uma solução sulfocrômica 15% ao meio e após, as amostras passaram por um processo de aquecimento por cerca de 30 min em banho maria (TE-056 MAG, Tecnal) em uma temperatura entre 75 – 80°C. Após o

resfriamento, as amostras foram agitadas horizontalmente em uma mesa de agitação pendular (TE-240/1, Tecnal) por 5 min a 120 rpm e ao término desse processo, adicionou-se 15 mL de água de osmose. As amostras foram deixadas em repouso por aproximadamente 24h e ao final desse período, foram retiradas 3 mL do sobrenadante que foi prontamente diluído na proporção de 1:1 com água destilada. Os teores de matéria orgânica são expressos em % (m/v) e a sua leitura realizada em espectrofotômetro UV-Visível (ESPEC-UV-5100, Tecnal) em 650 nm. O equipamento foi calibrado com uma solução padrão ao início das leituras e zerado com a amostra denominada como branco (3 mL da solução que seguiu o mesmo procedimento de análise, porém sem adição de solo + 3 mL de água). Os cálculos do teor de matéria orgânica do solo foram realizados empregando como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

4.5.4 Cálculo, magnésio, manganês e alumínio trocáveis (KCl)

Para a extração, 2,5 cm³ de solo foram coletados com o auxílio de um cachimbo e transferidos para um frasco tipo *snap-cap* (90 mL). Após, adicionou-se ao meio 50 mL de cloreto de potássio 1 mol/L. Feito isso, os frascos foram fechados e submetidos a um processo de agitação horizontal (TE-240/1, Tecnal) por cerca de 30 min a 120 rpm e ao final do processo, as amostras foram mantidas em repouso por aproximadamente 24h para decantação.

4.5.4.1 Determinação do teor de cálcio e magnésio

Para a determinação de cálcio presente no solo, foram retiradas 1 mL do sobrenadante da solução de extração e adicionado ao meio 10 mL de cloreto de estrôncio 0,3%. A solução foi homogeneizada e a leitura foi realizada por absorção atômica (SAVANTAA, GBC). Para a determinação do teor de magnésio, retirou-se uma alíquota de 5 mL da solução preparada para a leitura de Ca que foi posteriormente diluída em água destilada na proporção de 1:1. Após, a solução foi homogeneizada e a sua leitura realizada por absorção atômica. O cálculo dos teores de cálcio e magnésio presentes no solo foram estimados empregando-se como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

4.5.4.2 Determinação do teor de manganês

Para a determinação do teor de manganês existente no solo, retirou-se uma alíquota de 5 mL do sobrenadante da solução de extração que foi posteriormente diluída em 20 mL de água destilada. Após a homogeneização, as leituras dos teores de manganês foram realizadas por absorção atômica (SAVANTAA, GBC) e o cálculo foi estimado empregando como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

4.5.4.3 Determinação do teor de Alumínio

O teor de alumínio presente no solo foi realizado retirando-se inicialmente uma alíquota de 25 mL da solução de extração que foi transferida posteriormente para um Erlenmeyer de 250 mL. A solução foi titulada com hidróxido de sódio 0,0125 mol/L sendo usado como indicador o azul de bromotimol (3 gotas), até que a cor da solução passasse de amarelo-cítrico para azul.

4.5.5 Potássio, Fósforo, Cobre e Zinco (Mehlich)

Para a preparação da solução de extração, 2,5 cm³ de solo foram coletados com o auxílio de um cachimbo e transferidos para um frasco tipo *snap-cap* (90 mL). Feito isso, 30 mL da solução de Mehlich foi adicionado ao meio. Os frascos foram fechados e as amostras passaram por um processo de agitação horizontal (TE-240/1, Tecnal) por cerca de 5 min a 120 rpm e ao término do processo, as amostras foram mantidas em repouso por aproximadamente 24h para decantação.

4.5.5.1 Determinação do teor de Potássio

A determinação do teor de potássio presente no solo foi realizada retirando-se uma alíquota de 3 mL do sobrenadante da solução de extração e diluindo-a em 3 mL de água destilada. Após, a amostra foi homogeneizada e a leitura realizada em fotômetro de chama (910M, Analyser).

4.5.5.2 Determinação do teor de Fósforo

O teor de fósforo foi determinado retirando-se uma alíquota de 3 mL do sobrenadante da solução de extração diluindo-a em 3 mL de uma solução de molibdato de amônio 0,038% e HCl 0,87 mol/L. Em seguida, 2 gotas de uma solução de ácido ascórbico 20% foram adicionadas ao meio e posterior a isso, as amostras foram homogeneizadas e deixadas em repouso por 20 min ao abrigo de luz. O teor de fósforo presente no solo foi determinado a partir da leitura das amostras em espectrofotômetro UV-Visível (ESPEC-UV-5100, Tecnal) em 660 nm e os cálculos foram realizados empregando como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

4.5.5.3 Determinação dos teores de Cobre e Zinco

A determinação de cobre e zinco foi realizada a partir de uma alíquota de 10 mL retirada do sobrenadante da solução de extração, sendo feita sua leitura direta sem diluições por absorção atômica (SAVANTAA, GBC).

4.5.6 Enxofre

Para a determinação do enxofre disponível, retirou-se uma amostra de 10 cm³ de solo que foi posteriormente transferido para um frasco do tipo *snap-cap* (90 mL) e diluído em 50 mL de fosfato de cálcio. Feito isso, os frascos foram agitados horizontalmente (TE-240/1, Tecnal) por 30 min a 120 rpm e ao término desse processo, foram deixados em repouso por 24 h para total decantação. Após, uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi pipetada e transferida para um frasco de vidro e levada a um bloco digestor (TE-007MP, Tecnal) a 120-130°C, até secagem completa. Após a secagem, as amostras foram resfriadas e adicionou-se ao meio 1 mL de uma solução nítrico-perclórica na proporção de 3:1 (HNO₃: HClO₄). Ao final desse processo, funis foram colocados em cada tubo de ensaio e as amostras foram submetidas a um novo processo de digestão a 150-160°C por 10 min. Em seguida, os funis foram retirados e as amostras permaneceram no bloco por mais 10 min sendo mantida a temperatura de 150-160°C. Feito isso, as amostras foram retiradas do bloco digestor e resfriadas sendo adicionado posteriormente 10 mL de água destilada e 1 mL de cloreto de bário + gelatina ao meio. As amostras foram agitadas em vórtex (AP-56/1, Tecnal) e deixadas

em repouso por 30 min. O teor de enxofre expresso em $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ foi determinado a partir da leitura das amostras em um espectrofotômetro UV-Visível em 440 nm e o cálculo foi estimado empregando-se como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

4.5.7 Índice SMP, pH do solo e do resíduo da indústria de fertilizantes

A determinação do pH do solo e do resíduo consiste em uma medição eletroquímica, da atividade de íons H^+ da suspensão solo-água/ resíduo-água na proporção de 1:1. Para isso 10 cm^3 de solo foram amostrados e diluídos em 10 mL de água destilada. A solução foi misturada com o auxílio de um bastão de vidro material inerte, até completa mistura da suspensão. Feito isso as amostras foram mantidas em repouso por 30 min e agitadas novamente antes da leitura em pHmetro (TEC-7, Tecnal) para a determinação dos valores de pH. Para o índice SMP, utilizado para o cálculo da acidez potencial (teor de H^+Al) e como indicativo da quantidade de calcário a ser utilizada para elevar o pH do solo até o valor adequado ao tipo de cultivo (5,5, 6,0 ou 6,5) (CQFS-RS/SC, 2016) foram adicionados 5 mL de uma solução tampão denominado como Tampão Santa Maria (TSM) na suspensão preparada para a leitura do pH do solo. A solução contendo solo, água e tampão na proporção de 1:1:0,5 foi homogeneizada e deixada em repouso por 20 min. Ao término desse período a leitura do pH foi novamente realizada e o cálculo da acidez potencial expresso em $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ foi realizado a partir da Equação (4):

$$H + AL = e^{(10,665 - (1,1483 \times SMP))} / 10 \quad (4)$$

Onde: e representa o número de Euler (2,718) e SMP é o valor do índice obtido por meio da análise descrita no item 4.3.7.

4.6 Comprimento da parte aérea, massa verde e seca da planta

O comprimento da parte aérea e a determinação da massa verde e seca da soja do cultivar TMG 7262 foi realizada após 60 dias de cultivo. Para tanto, as plantas foram coletadas e medidas com o auxílio de uma trena como mostra a Figura 1, sendo observado posterior a isso, o sistema radicular da mesma. Após avaliação da parte aérea, as plantas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e pesadas em uma balança (BL3200H,

Shimadzu) para a determinação da massa verde da planta. Para a caracterização da planta em relação a sua massa seca, os sacos de papel contendo o tecido vegetal foram levados a uma estufa de circulação de ar forçada (TE-394/5, Tecnal) a temperatura constante de 60°C por 3 dias. Ao término desse processo, o tecido vegetal foi novamente pesado para a determinação da massa seca.

Figura 1 - Avaliação do comprimento da parte aérea da planta.



Fonte: A Autora.

4.7 Nutrientes do tecido vegetal

Após a análise de massa seca, o tecido vegetal coletado foi triturado em moinho de facas do tipo Willey até a obtenção de fragmentos de diâmetro inferior a 0,5mm. Posteriormente a isso foram efetuadas as análises para a determinação de nutrientes no tecido vegetal conforme metodologia estabelecida por Tedesco et al. (1995) através de combustão úmida micro-Kjeldhal. Para a realização da primeira digestão das amostras para posterior avaliação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, foram pesados 0,2 g de uma amostra de tecido vegetal que foi prontamente transferida para um tubo de Kjeldhal. Após, foram acrescentados 1 mL de peróxido de hidrogênio e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi homogeneizada e em seguida acrescentou-se 0,7 g de uma mistura de digestão (100 g de sulfato de sódio, 10 g de sulfato de cobre penta hidratado e 1 g de selênio metálico em pó). Feito isso, os tubos foram levados para o bloco digestor a 160°C, até oxidação parcial, subindo após isso a temperatura para 370°C por aproximadamente 4 h. Ao término da reação, o conteúdo presente nos tubos foi diluído em 50 mL de água destilada,

homogeneizado e deixado em repouso por 24h. No dia seguinte, o sobrenadante foi transferido para frascos do tipo “*snap-cap*” (90 mL) para a determinação dos teores de Ca, Mg, K e P avaliadas pelas metodologias descritas nos itens 4.5.4.1, 4.5.5.1 e 4.5.5.2 respectivamente empregando o sobrenadante obtido na digestão do tecido.

4.7.1 Determinação do teor de nitrogênio

Para a análise, 10 mL do sobrenadante obtido a partir da digestão do tecido vegetal foi pipetado e transferido para um tubo de destilação, onde foram adicionados 5 mL de uma solução de hidróxido de sódio 40%. As amostras foram encaminhadas para um destilador de nitrogênio (TE- 036/1, Tecnal) empregando uma solução de ácido bórico 4 % com indicador misto (verde de bromocresol e vermelho de metila) como solução receptora da amônia destilada, destilando a amostra até a obtenção de um volume de coleta de 35 – 40 mL. Feito isso, as amostras foram tituladas com ácido sulfúrico 0,025M e o cálculo realizado conforme a Equação (5).

$$\% \text{ Nitrogênio} = \frac{(\text{mL H}^+ \text{ am} - \text{mL H}^+ \text{ br}) \times 700 \times 5 \times 5}{10000} \quad (5)$$

4.8 Determinação do teor de enxofre, sódio, cobre, zinco, manganês e ferro no tecido vegetal

Para a determinação dos demais metais presentes na composição do tecido vegetal, uma segunda digestão foi preparada utilizando-se 1 g do tecido vegetal previamente moído, acrescentando-se ao meio 6 mL de ácido nítrico concentrado. Após, as amostras foram encaminhadas para o bloco digestor, a 90°C por cerca de 30 min. Após o término desse período, aumentou-se a temperatura do bloco para 120°C, até que restasse apenas cerca de 0,5 – 1mL de ácido nos tubos. Feito isso, as amostras foram deixadas em repouso por 10 min, adicionando-se em seguida 1 mL de HClO₄ concentrado. Após, as amostras foram levadas novamente ao bloco digestor a uma temperatura de 180°C por 2 h e diluídas posteriormente em 20 mL de água destilada. Por fim as amostras foram homogeneizadas em vórtex e deixadas em repouso por 24 h para total decantação. No dia seguinte, as amostras do sobrenadante foram retiradas para que as análises de Mn, Cu, Zn e S pudessem ser realizadas conforme as metodologias apresentadas nos itens 4.5.4.2, 4.5.5.3 e 4.5.6 respectivamente, empregando o sobrenadante obtido na digestão do tecido.

4.8.1 Teor Ferro

Para análise, pipetou-se 5 mL do sobrenadante resultante da digestão e diluiu-se prontamente o mesmo em 10 mL de água destilada. Feito isso, as amostras foram homogeneizadas e a análise do teor de Fe presente no tecido foi feita por absorção atômica, sendo que para a realização dos cálculos, empregou-se como referência uma curva de calibração com padrões externos realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da URI Erechim.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados e discussões referentes aos testes realizados a partir do resíduo bruto, testes de germinação das sementes de soja TMG 7262, aplicação em solo ácido e avaliação da planta após 60 dias de cultivo. Os resultados foram submetidos a análise estatística de variância ANOVA, seguida pelo teste de comparação múltipla de Tukey, usando software validado Statistica® 5.0 (Statsoft Inc., EUA). Para auxiliar na elaboração e análise estatística dos dados experimentais, foi adotado em todos os casos estudados um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Os resultados foram expressos através de média \pm desvio padrão (Média \pm DP). Cabe salientar que a parte radicular da soja não foi avaliada pois, o tempo de cultivo foi extenso, o que levou as raízes da planta a abraçarem o vaso, fazendo com que sua separação do solo fosse inviável por conta das perdas que isso ocasionaria.

5.1 pH do resíduo bruto e solubilidade em água

O emprego de resíduos industriais distintos em solo agrícola vem sendo muito estudado e utilizado tanto para o melhoramento das características do solo, como para a redução dos custos relacionados à disposição final desses resíduos em aterros. No entanto, o impacto ambiental causado pela aplicação desses resíduos na agricultura deve ser avaliado, por meio da caracterização da quantidade de cada elemento presente no resíduo e os níveis aceitáveis pela legislação para sua utilização em solo agrícola, para que os mesmos não venham a prejudicar o solo e as culturas de interesse. Cabe salientar que, os resíduos que não estiverem dentro dos padrões especificados pelos órgãos responsáveis pelo controle ambiental, antes ou após sofrerem algum tipo de tratamento, não poderão ser empregados em solo agrícola, e devem receber uma destinação adequada conforme a sua classificação (FALCÃO, 2005).

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes ao pH do resíduo bruto seco, bem como sua solubilidade em água. Esses resultados serviram como parâmetro para a sua classificação segundo a ABNT NBR 10004/2004.

Tabela 4 - Caracterização do resíduo após processo de secagem em relação ao seu pH e solubilidade em água.

pH	Solubilidade (g/100 mL de água)
12,81 ± 0,05	0,972 ± 0,19

A partir da Tabela 4, observa-se para o resíduo seco uma solubilidade de 0,97g em 100 mL de água, característica também encontrada no produto que o originou. O resíduo analisado no presente estudo, pode ser classificado como Perigoso (Classe I) de acordo com a ABNT NBR 10004/2004 pois, apresenta características corrosivas (pH igual ou superior a 12,5 quando misturado com água na proporção de 1:1), justificando assim a sua classificação.

Conhecer os impactos da incorporação de resíduos no pH do solo é de extrema importância, em função dos efeitos diretos que os mesmos podem vir a causar nas culturas de interesse, bem como na disponibilidade de nutrientes e metais pesados (Nobile, 2009). Segundo Camargo (2000), a disponibilidade de nutrientes básicos essenciais para o bom desenvolvimento dos cultivares depende entre outros fatores do pH do solo e segundo a Embrapa (2004), a partir do aumento do pH do solo há uma maior disposição desses micro e macronutrientes que serão absorvidos pelas plantas, havendo simultaneamente a insolubilização de outros que podem ser tóxicos as mesmas em grandes quantidades. Dessa forma, a análise química do resíduo com potencial de aplicação em solo agrícola deve ser realizada para a verificação da capacidade do mesmo no fornecimento de nutrientes para as plantas ou em fazer a alteração do pH do solo, podendo ser aplicado como substituto para outras fontes de nutrientes e materiais corretivos de acidez do solo (EMBRAPA, 2015).

A partir da caracterização do pH e da elevada solubilidade do resíduo, como mostra a Tabela 4, observa-se a sua potencialidade como corretivo de acidez do solo devido a sua alta alcalinidade, bem como sua capacidade de fornecimento de nutrientes encontrados em sua composição, considerados benéficos ao desenvolvimento das plantas.

5.2 Teste de germinação

A determinação da viabilidade das sementes de um lote é estimada com base em análises da qualidade da mesma, sendo esta definida por parâmetros físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários. Dentre esses, destaca-se o teste de germinação, um parâmetro fisiológico muito utilizado na determinação da capacidade máxima de germinação de um

determinado lote de sementes, onde os resultados obtidos por meio desta análise podem ser utilizados para a realização da comparação da qualidade entre lotes distintos, estimando também o valor da semente para cada plantio. O teste realizado em laboratório tem como objetivo fazer a avaliação da emergência e desenvolvimento das plântulas (parte radicular e aérea), indicando assim a possibilidade de desenvolvimento das mesmas em condições favoráveis, sendo observado através da porcentagem de germinação (EMBRAPA, 2009).

A Tabela 5 apresenta os resultados referentes ao teste da germinação das sementes de soja do cultivar TMG 7262 em papel de germinação, tipo Germitest, por um período de 5 dias de incubação, sendo estas caracterizadas em alto, médio e baixo vigor e em não viável.

Tabela 5 - Média do teste de germinação de sementes de soja do cultivar TMG 7262 em papel Germitest.

Amostras de Soja	Não Viável (%)	Alto Vigor (%)	Médio Vigor (%)	Baixo Vigor (%)
TMG 7262 Não Contaminada	14,0	66,0	20,0	0,0
TMG 7262 Contaminada	12,0	71,3	12,0	4,7

Com base na Tabela 5, pode-se verificar que a partir da adição do resíduo ao meio houve uma pequena diminuição do número de sementes não viáveis, sementes que não apresentaram o desenvolvimento das plântulas ou somente uma das partes, havendo simultaneamente um aumento do número de sementes de alto vigor, um resultado satisfatório, mostrando que a adição do resíduo ao meio pode trazer benefícios a emergência e ao desenvolvimento dos cultivares de interesse.

Serafini, Bracher e Rocha (2017) em seus estudos sobre a viabilidade de sementes de soja dos cultivares Morgan 5D555, TMG Intacta, Nidera 5909, Nidera 6006 e BRX Elite encontraram os percentuais de germinação de 78,72% para o cultivar Morgan 5D555, 83,44% para o cultivar TMG Intacta, 69,15% para Nidera 5909, 62,98% para Nidera 6006 e 81,87% para o cultivar BRX Elite. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados no teste de germinação com as sementes de soja do cultivar TMG 7262, dando ênfase no aumento da germinação das mesmas com a adição do resíduo ao meio.

5.3 Análise do solo

Análises para a caracterização química do solo são utilizadas para a avaliação da necessidade de corretivos e aplicação de fertilizantes, bem como para a determinação do teor de nutrientes presentes no mesmo. Macro e micronutrientes são essenciais para o bom desenvolvimento dos cultivares, desempenhando diferentes funções dentro de uma planta, não podendo ser totalmente substituídos por outros (VILLAR, 2007; CQFS-RS/SC, 2004). A Tabela 6 apresenta a caracterização do solo antes da aplicação do resíduo como aditivo do calcário.

Tabela 6 - Caracterização química do solo, antes da implantação do experimento.

Argila	pH ¹	SMP ²	MOS ³	P ⁴	K ⁴	Ca ⁵	Mg ⁵	Al ⁵	H+Al
%	1:1		m/v %	mg	dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	
46,02	5,1	5,22	2,88	6,6	247	8,0	3,8	0,0	3,9

¹pH em Água, ²Índice SMP, ³Matéria Orgânica do Solo, ⁴Fósforo e Potássio (Mehlich-I), ⁵Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis (KCl 1M).

Com base na Tabela 6 e através do pH SMP, utilizado na agricultura para a determinação da quantidade de calcário a ser aplicado para que haja a elevação do pH do solo a 5,5, 6,0 e 6,5 (TOMÉ, 1997; ROSSA, 2006, CQFS-RS/SC, 2004), estabeleceu-se que a quantidade de calcário com PRNT de 85% deveria ser de 9,76 ton/ha para elevar o pH para 6,0, que corresponde a 200 g/40kg de terra, o qual foi empregado como referência. Parte deste calcário (12,5, 25,0, 50,0 e 75,0%) foi substituído nos demais ensaios pelo resíduo. Se o PRNT do calcário fosse 100%, a aplicação de calcário recomendada seria de 8,3 ton/ha.

5.4 Comprimento, massa verde e seca da parte aérea da planta

Dentre os fatores a serem avaliados para a determinação do desempenho agrônomico de um cultivar, a altura da plântula, bem como a sua massa seca são de extrema importância para a escolha do cultivar e máxima produtividade de grãos, sendo fundamentais também na determinação do melhor método de colheita a ser empregado. O comprimento da planta é um dos fatores que influenciam muito na escolha do cultivar a ser empregado em uma determinada região, sendo variável consideravelmente, dependendo da época de plantio,

espaçamento entre as plantas, temperatura, irrigação, fertilidade do solo, entre outros. De acordo com essas características, o cultivar pode ter sua altura reduzida. Dessa forma, a altura ideal desejada para os cultivares é acima de 60 cm, sendo consideradas alturas entre 60 a 120 cm adequadas para a colheita mecanizada (CARTTER, HERTWIG, 1962; REZENDE, CARVALHO, 2007).

A Tabela 7 apresenta os resultados de comprimento da parte aérea da planta, bem como sua massa verde e seca, parâmetros avaliados após 60 dias de cultivo da soja TMG 7262.

Tabela 7 - Análise de comprimento, massa verde e seca da soja do cultivar TMG 7262 após 60 dias de cultivo.

Tratamento	Comprimento (cm)	Massa Verde (g)	Massa Seca (g)
1	61,40 ^{ab} ± 4,40	116,22 ^a ± 4,27	22,31 ^a ± 2,21
2	65,84 ^{ab} ± 2,67	104,17 ^a ± 12,68	23,53 ^a ± 2,25
3	61,88 ^{ab} ± 8,51	107,92 ^a ± 26,85	20,42 ^a ± 7,66
4	57,28 ^b ± 0,79	82,87 ^a ± 25,03	13,88 ^a ± 4,43
5	75,57 ^a ± 11,29	104,62 ^a ± 16,74	23,12 ^a ± 7,06
6	75,72 ^a ± 3,53	101,42 ^a ± 7,77	21,56 ^a ± 0,99

NOTA: Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$), sendo comparadas entre colunas.

Em relação ao comprimento da parte aérea da soja TMG 7262, o tratamento 4 diferiu significativamente dos tratamentos 5 e 6, sendo o único tratamento a possuir um comprimento menor que 60 cm, que é o comprimento desejado em uma colheita.

A massa verde e seca da planta foram realizadas a partir da coleta da parte aérea das três planas encontradas em um vaso, acondicionadas em um mesmo papel e pesadas antes e após secagem em estufa. Em relação a massa verde, os tratamentos não variaram significativamente entre si. O mesmo pode ser observado em relação a massa seca, onde os tratamentos não variaram significativamente entre si

Nunes et al. (2017) em seus estudos, avaliaram entre outros fatores, a altura da soja do cultivar TMG 7262, bem como a massa seca da mesma, encontrando o valor de 41,3 cm para a altura da parte aérea da planta e uma massa seca de 6,3 g por planta no mesmo cultivar. Os resultados encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados no trabalho de Nunes et

al. (2017) em relação ao comprimento das plantas. Porém, essa diferença pode ter sido causada pelo tipo de solo empregado em cada estudo.

5.5 Análise dos nutrientes do tecido vegetal

Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), a interpretação dos teores de nutrientes presente nas folhas das plantas é feita por meio de faixas já estabelecidas obtidas por meio da relação entre os teores de nutrientes foliares e o rendimento da cultura de interesse. Cabe salientar que esses valores podem variar dependendo da região e disponibilidade de nutrientes ao solo.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores dos teores de nutrientes foliares encontrados na soja do cultivar TMG 7262, sendo que os cálculos foram realizados conforme a metodologia de Tedesco et al. (1995).

Tabela 8 - Análise dos nutrientes encontrados na soja do cultivar TMG 7262 após 60 dias de cultivo.

Tratamentos	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	S (%)
1	1018,49	6,17	72,71	155,43	12,22
2	239,91	6,99	42,68	133,54	12,52
3	223,85	7,43	50,05	145,2	12,94
4	268,95	6,88	54,56	157,52	12,8
5	376,86	6,81	51,15	260,48	12,32
6	977,57	8,62	79,97	370,26	20,8
*TMG 7262	20-100	10-30	20-50	50-350	0,21-0,40

* Teores de macro e micronutrientes presentes no tecido vegetal da soja do cultivar TMG 7262 - CQFS-RS/SC (2004).

Tabela 9 - Análise dos nutrientes presentes no cultivar analisado após 60 dias de cultivo.

Tratamentos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (mg/kg)
1	3,85	0,32	2,48	0,8	0,21	0,46
2	3,68	0,4	2,85	1,05	0,21	0,58
3	3,54	0,38	2,85	1,23	0,23	0,55
4	3,78	0,46	3,25	1,21	0,23	0,67
5	4,17	0,52	3,52	1,06	0,2	0,75
6	4,3	0,5	2,68	1,04	0,22	0,72
*TMG 7262	4,5-5,5	0,26-0,50	1,7-2,5	0,4-2,0	0,3-1,0	21-55

*Teores de macro e micronutrientes presentes no tecido vegetal da soja do cultivar TMG 7262 - CQFS-RS/SC (2004).

A partir dos dados referentes aos teores de macro e micronutrientes fornecidos pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004) e dos resultados encontrados da soja plantada em solo tratado com calcário + resíduo da indústria de fertilizantes, percebe-se que os teores de nitrogênio em todos os tratamentos estão abaixo do recomendado para os cultivares de soja. Já em relação aos teores de fósforo, o único tratamento que ficou acima da faixa desejada desse nutriente foi o tratamento 5, com um teor de 0,52% de P, sendo que os demais se apresentaram dentro dos padrões estabelecidos.

Em relação ao teor de potássio, o único tratamento cuja porcentagem encontra-se dentro dos padrões estipulados é o tratamento 1, sendo que nos demais tratamentos, o teor de K encontrado é muito superior ao estabelecido. O mesmo pode ser observado no teor de enxofre e manganês, onde no caso do enxofre, os altos teores encontrados no tecido podem ser explicados pela alta quantidade desse macronutriente presente no resíduo, o que pode ter sido disponibilizado em excesso para a planta.

A porcentagem de cálcio encontrado no estudo em todos os tratamentos encontra-se dentro dos valores informados pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). Porém, os valores de boro e magnésio estão muito inferiores aos indicados pela mesma em todos os casos, o que pode trazer prejuízos no bom desenvolvimento dos grãos.

Os teores de zinco ideais na composição dos nutrientes da planta devem variar entre 20 – 50 mg/kg. Conforme os estudos realizados, somente os tratamentos 2 e 3 apresentam-se dentro dos padrões indicados, sendo que os demais tratamentos apresentam teores de zinco superiores aos recomendados. O mesmo pode ser observado nos teores de Fe, onde o tratamento 6 foi o único a ficar acima do estipulado pelo Manual de Fertilidade e de Calagem do Solo (2004), sendo que o restante dos tratamentos se encontram dentro dos níveis adequados desse nutriente.

5.6 Análise do solo após 60 dias da adição do resíduo como aditivo do calcário

Os resultados referentes a caracterização química do solo após o tratamento com o resíduo da indústria de fertilizantes como aditivo ao calcário são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Teor de argila, matéria orgânica, pH e índice SMP presente no solo após o tratamento com resíduo como aditivo do calcário.

Tratamento	Argila (%)	MOS (m/v)	pH (1:1)	SMP
1	46,03 ^a ± 0,02	2,72 ^a ± 0,05	6,18 ^a ± 0,46	6,25 ^a ± 0,17
2	46,03 ^a ± 0,04	2,74 ^a ± 0,10	5,88 ^{ab} ± 0,05	5,95 ^b ± 0,06
3	46,01 ^a ± 0,01	2,72 ^a ± 0,13	5,45 ^{bc} ± 0,17	5,68 ^c ± 0,13
4	46,02 ^a ± 0,02	2,70 ^a ± 0,13	5,00 ^{cd} ± 0,08	5,48 ^{cd} ± 0,15
5	46,02 ^a ± 0,02	2,81 ^a ± 0,11	4,78 ^d ± 0,05	5,38 ^d ± 0,05
6	46,02 ^a ± 0,01	2,88 ^a ± 0,19	5,10 ^{cd} ± 0,08	5,22 ^d ± 0,05

NOTA: Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$), sendo comparadas entre colunas.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo CQFS-RS/SC (2004) apresenta as orientações referentes a adubação e calagem do solo, contendo também informações sobre os parâmetros a serem avaliados durante um processo de análise de fertilidade do mesmo, bem como orientações referentes a interpretação dos dados obtidos na análise de caracterização do solo e nutrientes do tecido vegetal. Para o teor de argila, o mesmo pode ser classificado em 4 classes, sendo que quanto maior a classe, menor será o teor de argila encontrado no solo amostrado. Sendo assim, classifica-se como Classe I os solos que apresentam um teor de argila igual ou superior a 60%, Classe II, os solos que contém teores de argila entre 41-60%, Classe III os solos que possuem teores de argila entre 21-41% e Classe IV, os solos que apresentam um teor de argila inferior a 20%.

Dessa forma, com base na Tabela 10, pode-se observar que os tratamentos não diferiram significativamente entre si em relação aos teores de argila encontrados no solo do tipo Latossolo Vermelho Aluminoférrico amostrado, e o mesmo pode ser classificado como Classe II por apresentar um teor de argila entre 41 e 60%.

Ainda segundo a CQFS-RS/SC (2004), a análise de matéria orgânica do solo é realizada objetivando entre outros fatores, a determinação da disponibilidade de nitrogênio presente no mesmo. O teor de matéria orgânica pode ser classificado em 3 faixas: baixa, média e alta. Sendo considerado como baixo teor, o solo que apresentar uma porcentagem de matéria orgânica (MOS) igual ou inferior a 2,5%, para ser caracterizado como médio teor o solo deve conter uma porcentagem de matéria orgânica entre 2,6 – 5,0% e para ser classificado como alto teor, o solo deve apresentar uma faixa de matéria orgânica superior a

5% na análise realizada. Com base na Tabela 10, verifica-se que não há diferença significativa entre os tratamentos avaliados, sendo o solo utilizado neste estudo classificado como médio teor por possuir uma porcentagem de matéria orgânica entre 2,6 – 5,0% em todos os tratamentos analisados.

Segundo Villar (2007), o pH é um fator que influencia diretamente a disponibilidade dos nutrientes presente no solo as plantas. Para os cultivares, o pH do solo deve estar entre 6,0 – 6,5 para que haja uma máxima disponibilidade de macro e micronutrientes que auxiliarão no seu desenvolvimento. Segundo a CQFS-RS/SC (2004), o pH do solo pode ser classificado em muito baixo (< 5), baixo (5,1 – 5,4), médio (5,5 – 6,0) e alto (> 6,0).

Através da análise de pH realizada em cada um dos tratamentos seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), o tratamento 1 pode ser classificado como alto, sendo o único a possuir um pH entre 6,0 – 6,5, ideal para o plantio do cultivar a ser analisado. O menor pH encontrado neste estudo foi o do tratamento 5, sendo considerado muito baixo, o que pode ter influenciado na disponibilidade de nutrientes as plantas, não sendo recomendado para plantio. O pH do tratamento 4 também foi classificado como muito baixo, sendo este, um dos fatores que podem ter afetado diretamente o desenvolvimento da soja, como foi observado na análise do comprimento da plântula, bem como na sua massa seca. O pH do restante dos tratamentos foi classificado como baixo, um pH do solo considerado como inapropriado para um bom desenvolvimento das culturas.

O pH SMP é a correlação entre o índice SMP e a acidez potencial (H+Al) encontrada em um solo. Para tanto, quanto menor o índice SMP, maior será a acidez potencial do solo, necessitando assim, de uma maior quantidade de corretivo a ser aplicado para que se atinja um valor de pH desejado para o cultivo de interesse, que se encontra normalmente entre 6,0 e 6,5 (TOMÉ, 1997; ROSSA, 2006, CQFS-RS/SC, 2004). A Tabela 11 apresenta as quantidades em ton/ha de corretivo a ser aplicado ao solo com base nos valores obtidos no índice SMP, fazendo uma correlação com a acidez potencial desejada.

Tabela 11 - Calagem recomendada com calcário (PRNT 100%) baseado nos valores do índice SMP, para a correção da acidez dos solos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Índice SMP	5,5	6,0	6,5
ton/ha.....		
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,6	9,9	13,3
5,1	6,0	9,1	12,3
5,2	5,3	8,3	11,3
5,3	4,8	7,5	10,4
5,4	4,2	6,8	9,5
5,5	3,7	6,1	8,6
5,6	3,2	5,4	7,8
5,7	2,8	4,8	7,0
5,8	2,3	4,2	6,3
5,9	2,0	3,7	5,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,1	1,3	2,7	4,3
6,2	1,0	2,2	3,7
6,3	0,8	1,8	3,1

Fonte: CQFS-RS/SC (2004)

Observa-se, portanto, a partir da Tabela 11, que a quantidade de calcário necessária para a obtenção de um pH final do solo de 6,0 varia entre 2,2 ton/ha no caso do tratamento 1, 3,7 ton/ha para o tratamento 2, 4,8 ton/ha para o tratamento 3, 6,1 ton/ha para o tratamento 4, 6,8 ton/ha para o tratamento 5 e 8,3 ton/ha para o tratamento 6. A partir disso, pode-se concluir que, quanto menor a quantidade de calcário empregada nos ensaios, maior a massa de corretivo necessária para atingir um mesmo valor de pH em todos os tratamentos. O tratamento 1 contendo 200 g de calcário e 0 g de resíduo foi o que apresentou os melhores resultados de índice SMP em comparação aos demais tratamentos.

A Tabela 12 apresenta os valores referentes a análise de metais presentes no solo amostrado após o cultivo da soja.

Tabela 12 - Análise de nutrientes após o tratamento com resíduo como aditivo do calcário.

Tratamento	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Ca (cmol _c /dm ³)	Mg (cmol _c /dm ³)	S (mg/dm ³)
1	14,48 ^a ± 5,26	247,35 ^a ± 33,99	8,54 ^a ± 1,30	1,34 ^a ± 0,11	36,53 ^b ± 11,26
2	13,69 ^a ± 2,64	237,15 ^a ± 45,47	8,48 ^a ± 0,52	1,30 ^a ± 0,07	44,42 ^{ab} ± 14,01
3	14,08 ^a ± 3,47	255,51 ^a ± 47,36	7,26 ^{ab} ± 0,61	1,04 ^b ± 0,10	42,96 ^{ab} ± 5,77
4	16,37 ^a ± 3,27	253,98 ^a ± 79,44	6,33 ^b ± 0,32	0,85 ^c ± 0,05	49,94 ^{ab} ± 8,99
5	11,98 ^a ± 3,77	199,92 ^a ± 35,37	6,53 ^b ± 0,48	0,77 ^{cd} ± 0,03	63,02 ^a ± 6,41
6	12,54 ^a ± 3,11	235,62 ^a ± 70,83	3,99 ^c ± 0,22	0,67 ^d ± 0,01	43,46 ^{ab} ± 7,27

NOTA: Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$), sendo comparadas entre colunas.

Conforme a CQFS-RS/SC (2004), a interpretação dos resultados de fósforo presente no solo, caracterizadas a partir da extração por Mehlich é realizada a partir do teor de argila presente no mesmo, uma vez que elevados teores de argila, e conseqüentemente de óxido de ferro e alumínio, conduzem a insolubilização do fósforo. Neste sentido, a caracterização é realizada levando em consideração a classe do solo em relação ao teor de argila, que neste caso é Classe II, a qual considera os teores de fósforo como: muito alto (teor > 18 mg/dm³), alto (9,1-18 mg/dm³), médio (6,1-9,0 mg/dm³), baixo (3,1-6,0 mg/dm³), e muito baixo (menor ou igual a 3,0 mg/dm³).

Com base nisso, observa-se que nos resultados obtidos nesse estudo, o teor de fósforo (P) encontrado no solo pode ser classificado em alto por apresentar resultados entre 9,1-18 mg/dm³ de fósforo em sua composição. Os tratamentos não diferiram significativamente entre si, porém, o maior valor de fósforo encontrado foi no tratamento 4 e o menor valor foi encontrado no tratamento 6, denominado como branco.

Já os valores de potássio (K) podem ser classificados como muito baixo (teor menor ou igual a 20 mg/dm³), baixo (21-40 mg/dm³), médio (41-60 mg/dm³), alto (61-120 mg/dm³) e muito alto (> 120 mg/dm³). Essas informações aliadas aos resultados obtidos, mostram que o teor de potássio presente no solo amostrado após 60 dias de cultivo com soja pode ser caracterizado como muito alto, em função de que todos os tratamentos apresentaram valores de potássio superiores a 120 mg/dm³ (CQFS-RS/SC, 2004).

Os teores de cálcio, magnésio e enxofre extraíveis do solo também são classificados em alto, médio e baixo, sendo que para o cálcio, os teores ≤ 2,0 cmol_c/dm³ são considerados

como baixo, teores entre 2,1-4,0 cmol_c/dm³ são classificados como médio e > 4,0 cmol_c/dm³ são classificados como alto. No caso do solo amostrado do tipo Latossolo Aluminoférrico tratado com calcário e resíduo da indústria de fertilizantes, o teor de cálcio encontrado pode ser caracterizado como alto para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, e como médio para o tratamento 6 que não foi submetido a nenhum método de correção de acidez do solo. Os teores de magnésio conforme a CQFS-RS/SC (2004) são classificados nesse experimento como alto para os experimentos 1, 2 e 3 por possuírem um teor de Mg superior a 1,0 cmol_c/dm³ e como médio teor para os tratamentos 4, 5 e 6, em função dos resultados de Mg ficarem entre 0,6 – 1,0 cmol_c/dm³, onde mais uma vez, o tratamento 6, apresentou o menor valor desse metal em comparação com os demais tratamentos.

O solo analisado possui um alto teor de enxofre (> 5,0 mg/dm³), fato que pode ser explicado em função do resíduo apresentar um alto teor de enxofre em sua composição, o qual foi disponibilizado ao solo a partir da sua aplicação. A Tabela 13 apresenta os resultados de alumínio trocáveis, acidez potencial e micronutrientes presentes no solo.

Tabela 13 - Análise de nutrientes, alumínio trocáveis e acidez potencial após 60 dias de tratamento do solo.

Tratamento	Al	H+Al	Zn (mg/dm ³)	Cu (mg/dm ³)	Mn (mg/dm ³)	B (mg/dm ³)
1	0,00 ^d ± 0,00	3,32 ^e ± 0,61	7,44 ^a ± 0,10	16,39 ^b ± 0,39	17,28 ^d ± 14,32	0,44 ^a ± 0,04
2	0,00 ^d ± 0,00	4,62 ^{de} ± 0,31	7,28 ^a ± 0,22	17,56 ^{ab} ± 0,05	23,62 ^d ± 8,53	0,44 ^a ± 0,05
3	0,22 ^c ± 0,17	6,38 ^{cd} ± 0,96	7,05 ^a ± 0,43	17,30 ^{ab} ± 0,65	49,22 ^{cd} ± 14,69	0,40 ^a ± 0,04
4	0,50 ^b ± 0,14	8,06 ^{bc} ± 1,40	6,99 ^a ± 0,25	17,60 ^{ab} ± 0,62	102,38 ^{bc} ± 17,46	0,41 ^a ± 0,06
5	0,82 ^a ± 0,05	8,94 ^{ab} ± 0,53	6,94 ^a ± 0,36	17,73 ^a ± 0,78	163,89 ^a ± 52,85	0,38 ^a ± 0,04
6	1,00 ^a ± 0,08	10,63 ^a ± 0,60	7,13 ^a ± 0,25	18,04 ^a ± 0,58	162,76 ^{ab} ± 29,15	0,43 ^a ± 0,04

NOTA: Médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de *Tukey* (p<0,05), sendo comparadas entre colunas.

Em relação aos teores de micronutrientes presentes no solo (Cu, Zn, B e Mn), de acordo com a CQFS-RS/SC os solos podem ser interpretados com baixo, médio e alto (Tabela 14), sendo que, segundo a mesma, deficiências desses quatro micronutrientes são raras em culturas anuais nos solos dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ocorrendo apenas em solos arenosos com pH elevado ou com baixos níveis de matéria orgânica em sua composição (CQFS-RS/SC, 2004).

Tabela 14 - Interpretação dos teores de micronutrientes existentes no solo.

Interpretação	Cu	Zn	B	Mn
	----- mg/dm ³ -----			
Baixo	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 2,5
Médio	0,2-0,4	0,2-0,5	0,1-0,3	2,5-5,0
Alto	> 0,4	> 0,5	> 0,3	> 5,0

Fonte: CQFS-RS/SC (2004).

Por meio dos dados obtidos nos experimentos e com base na Tabela 14, a qual apresenta as faixas para a interpretação dos resultados encontrados, pode-se concluir que mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos em relação ao teor de Zn presente no solo utilizado neste estudo, o mesmo pode ser classificado em todos os casos como alto teor, mostrando assim, a alta disponibilidade desse micronutriente, o que beneficiaria a próxima cultura a ser plantada no mesmo local.

Algo semelhante pode ser observado em relação aos demais micronutrientes (B, Cu e Mn), sendo que estes podem também receber a classificação de alto teor, mostrando que apesar de não ter melhorado significativamente o solo, o resíduo pode ser aplicado sem que haja um decaimento na qualidade do mesmo, não prejudicando suas características, o que torna sua aplicação atrativa na agricultura e como meio de destinação para o resíduo.

O alumínio trocável é um elemento considerado como tóxico para uma grande variedade de plantas, sendo que nos solos o ideal é que os seus teores sejam nulos. Porém, estudos indicam que teores de até 0,5 cmol_d/dm³ de alumínio presente no solo podem ser considerados como baixos, não prejudicando o desenvolvimento do cultivar de interesse (VILLAR, 2007).

No solo testado os tratamentos 1 e 2 não diferiram significativamente entre si, e os valores de alumínio trocáveis nesses dois tratamentos foram nulos, o que é o ideal em um solo próprio para o cultivo. Já os tratamentos 4 e 5 diferiram significativamente entre si e seus níveis de alumínio trocáveis são considerados como muito baixos. E por fim, os tratamentos 5 e 6, os quais diferiram significativamente dos demais tratamentos, apresentam um teor de alumínio acima do ideal, o que pode ser explicado por conta de a correção do pH não ter sido muito efetiva no caso do tratamento 5 e de não ter sido aplicado nenhum corretivo no caso do tratamento 6, o que fez com que esse metal não fosse insolubilizado por conta da acidez do solo.

Para o Alumínio intercambiável observa-se uma tendência inversamente proporcional a quantidade de calcário adicionado. Esta tendência esta coerente com a literatura a qual

associa a imobilização a correção do pH do solo pelo calcário. Dessa forma, quanto menor o pH do solo, maiores serão os teores de alumínio encontrados no mesmo (VILLAR, 2007).

No caso dos teores de acidez potencial ($H+Al$), não há uma classificação para estes parâmetros, porém, pode-se dizer que em solos com altos teores de matéria orgânica e pH muito baixo, encontram-se normalmente, maiores valores de acidez potencial (VILLAR, 2007). Isso pode ser observado nos tratamentos estudados, onde quanto menor o valor de calcário empregado, menor foi a efetividade de correção do pH e por consequência disso, maiores foram os teores de acidez potencial encontrados.

6. CONCLUSÃO

Após a realização das análises para a avaliação da potencialidade de emprego do resíduo da indústria de fertilizantes como corretivo de solo agrícola, pode-se concluir que a adição do calcário puro ao solo elevou os teores de pH ao nível adequado para o desenvolvimento vegetal satisfatório, porém, quanto menor o teor de calcário empregados nos tratamentos, menor foi o poder de correção da acidez.

O comprimento e massa seca das plantas encontram-se dentro dos padrões desejados para colheita e em relação aos teores de micro e macronutrientes extraíveis do solo e do tecido vegetal. Em ambos os casos, alguns nutrientes apresentaram-se em excesso, o que pode prejudicar também o desenvolvimento da planta, através da disponibilidade excessiva desses nutrientes, tanto o excesso, quanto a falta trazem prejuízos as culturas, mostrando a necessidade de mais estudos sobre a aplicação desse resíduo ao solo e monitoramento dos níveis de disponibilidade desses nutrientes para que o excesso não acabe prejudicando o meio e o desenvolvimento dos cultivares.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004: **Resíduos Sólidos – Classificação**, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.007: **Amostragem de Resíduos Sólidos**, 2004.
- ANDRADE, D. J. de.; PATTARO, F. C.; OLIVEIRA, C. A. L. de. Resíduos de calda sulfocálcica sobre a eficiência de acaricidas no controle de *Brevipalpus phoenicis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.10, p.1695-1701, out. 2011.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Fertilizantes: Uma visão global sintética**. Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 10 set. 2019.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. Rio de Janeiro, out. 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em 02 set. 2019.
- BERTOLDO, A.A. **Desenvolvimento de metodologia para determinação dos componentes e especiação de polissulfetos em amostras de calda sulfocálcica**. 2003. 87 p. Dissertação (Mestrado em química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- BRANCO, S. B.; SILVEIRA, C. B. da.; CAMPOS, M. L.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTI, D. J. Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.543-550, mar. 2013.
- BRASIL. Lei nº 12305 de 2 de agosto de 2010. **Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Distrito Federal, agosto de 2010.
- BRASIL. Lei nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982. **Dispõe sobre a Política Nacional de Fertilizantes**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Distrito Federal, fevereiro, 1982.
- CAMARGO, O. A. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Indez.htm>. Acesso em: 07/05/2020.
- CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P.C., RAMOS, A.M. CAL-VIDAL, J. Effect of the carries on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.6, p. 420-428, mai. 2005.
- CARTTER, J. L.; HARTWIG, E. E. The management of soybeans. In: NORMAN, A. G. (Ed.). **The soybean**. New York: Academic, 1962.

- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo, SBCS- Núcleo Região Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo, SBCS- Núcleo Região Sul/UFRGS, 2016.
- CRUZ, A.C; PEREIRA, F.S; FIGUEIREDO, V.S. **Fertilizantes Organominerais de resíduos do Agronegócio: Avaliação do Potencial Econômico Brasileiro**. Acesso em: 07 set.2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Característica de corretivos agrícolas**. São Carlos, 12 p. 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo**, 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Análise de sementes de hortaliças**. Brasília, 9 p. nov. 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Uso de resíduos da indústria de papel e celulose em plantios florestais: Aspectos técnicos e legais**. Colombo – Paraná, Embrapa Florestais, dez. 2015.
- GOEDERT, W. J. **Consumo e produção de fertilizantes no Brasil**. EMBRAPA-DID, 12 p. Brasília, 1981.
- FALCÃO, A. de. A. **Análise química de resíduos sólidos para estudos agroambientais**. 2005. 97 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Programa de Pós-Graduação em Química Analítica, Departamento de Química Analítica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- INACIO, S. R. F. **Produção e comercialização de insumos para produção de fertilizantes: Um panorama mundial e os paradigmas do Brasil**. 2013, 18 p. Trabalho de Estagiário Júnior do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- MEDEIROS, J. C.; AIBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; BATISTELLA, F.; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1657-1665, 2009.
- MESQUITA, A.A. **Remediação de áreas contaminadas por metais pesados provenientes de lodo de esgoto**. 2002. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- NOBILE, F. O. de. Uso de resíduos na agricultura. **Revista Uniara**, v.12, n.2, dez. 2009.
- NUNES, H. D., FARINELLI, R. FERES, P. A., DIAS, G. J. TOBASI, I. L. Desempenho agronômico de cultivares de soja RR para a região de Barretos – SP. **Ciência e Cultura**, v.12, n. 2, jul/dez. 2016.

- ORO, C. E. D. **Purificação do Sal Residual da Etapa de Destilação da Glicerina Bruta**. 2018. 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2018.
- PAULO, R. L; SERRA, J. C. V. Estudo de caso envolvendo uma indústria de fertilizantes na cidade de Porto Nacional/TO. **Sistemas & Gestão**, Palmas, v.10, n.2, p.316-323, out. 2015.
- REZENDE, P. M. de. Avaliação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Agrotécnica.**, v.31, n.6, p. 1616-1623, nov/dez. 2007.
- RODRIGUES, R. B; OZORIO, L. de. M.; PINTO, C. de. L. B.; BRANDÃO, L. E. T. Opção de troca de produto na indústria de fertilizantes. **Revista de Administração**, São Paulo, v.50, n.2, p.129-140, abr/mai/jun. 2015.
- ROSSA, U. B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. **Manual de métodos de análises dos laboratórios da ROLAS RS/SC**. 76 p. 2018.
- SERAFINI, S. C., BRACHER, J. C. da ROCHA, P. G. International Congress of Management, Technology and Innovation. 5, 2018, Erechim. **Anais do III Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação (CONIGTI) - Testes de viabilidade em sementes de soja salvas no município de Centenário – RS**. Erechim: URI – Campus de Erechim, 2018.
- SHREVE, R. Norris; BRINK JÚNIOR, Joseph A. **Indústrias de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro, 718 p. 2012.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TODERO, I.; CONFORTIN, T.C.; SOARES, J.F.; BRUN, T.; LUFT, L. RABUSKE, J.E.; KUHN, R.C.; TRES, M.V.; ZABOT, G.L; MAZUTTI, M.A. Concentration of metabolites from *Phoma* sp. Using microfiltration membrane for increasing bioherbicidal activity. **Environmental Technology**, v.40, n.18, p.2364-2372, 2018.
- TOMÉ JUNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. 247p. 1997.
- UNIFERTIL - Universal Fertilizantes. **Calagem: Importância e aplicação**. Universal de Fertilizantes S. A, n.6, maio. 2014.
- VILLAR, M. L. P. Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação. **Empaer-MT**, n.35, 188 p. 2007.
- WEIRICH NETO, P. H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.257-261, 2000.

YAMASHITA, C., CHUNG, M. M. S. dos SANTOS, C. MAYER, C. R. M. MORAES, I. C. F., BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **Food Science and Technology**, v. 84, p. 256-262, 2017.