

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL  
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO  
E DA ÁGUA



**Dissertação**

**SUBPRODUTOS DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA FORMAÇÃO IRATI COMO  
FONTES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE**

**Marlon Rodrigues**

**Pelotas, 2017**

**Marlon Rodrigues**

**SUBPRODUTOS DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA FORMAÇÃO IRATI COMO  
FONTES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Solos)

Orientador: Professor Dr. Ledemar Carlos Vahl

Co-orientador: Pesquisador Dr. Carlos Augusto Posser Silveira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

R696s Rodrigues, Marlon

Subprodutos da mineração de calcário da  
Formação Irati como fontes de cálcio, magnésio e  
enxofre / Marlon Rodrigues ; Ledemar Carlos Vahl,  
orientador ; Carlos Augusto Posser Silveira,  
coorientador. — Pelotas, 2017.

121 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-  
Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da  
Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,  
Universidade Federal de Pelotas, 2017.

Marlon Rodrigues

**SUBPRODUTOS DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA FORMAÇÃO IRATI COMO  
FONTES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 17/02/2017

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ledemar Carlos Vahl (Orientador), Doutor em Agronomia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pesquisador Dr. Adilson Luís Bamberg, Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Flavia Fontana Fernandes, Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dedico este trabalho aos meus pais, Waldir e Maria e  
aos meus irmãos, Thaisa e Thiago.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde, força e o privilégio de alcançar mais uma etapa.

A meus pais e irmãos pelo apoio durante esta etapa da minha vida e pela confiança em mim depositada, sendo o meu grande alicerce.

Ao professor Ledemar Carlos Vahl pela orientação, confiança e contribuição na minha formação.

Ao pesquisador Carlos Augusto Posser Silveira pela co-orientação, pelos ensinamentos e apoio.

A Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (MACSA) da notória Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Embrapa Clima Temperado e funcionários pela estrutura e apoio no desenvolvimento de diversas atividades, em especial ao Hamilton Pereira e Ivan Pereira.

A Calcário Diamante, na pessoa de seu diretor-presidente, Fábio Ramos Vitti pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do MACSA, pelos ensinamentos.

Aos colegas de curso e departamento, pelas discussões, estudos, ajuda e companheirismo, em especial a Yasmin Santos, Mussa Mamudo Salé, Thais Palumbo e Mateus Thiel.

Aos funcionários do Departamento de Solos em especial a Rosane Guidotti pelo apoio na execução das análises de solos em laboratório.

Aos demais amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para a viabilização deste trabalho, um sincero muito obrigado.

*“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana”*

*(Carl Jung)*

## RESUMO

RODRIGUES, Marlon. **Subprodutos da mineração de calcário da Formação Iratí como fontes de cálcio, magnésio e enxofre.** 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

A mineração é uma exploração de recurso natural que pode causar impactos ambientais. Promover um destino adequado aos subprodutos da mineração é fundamental para um ganho econômico e ambiental. Nesse sentido, esta pesquisa buscou avaliar a utilização de subprodutos oriundos da mineração de calcário como fontes de cálcio, magnésio e enxofre. Para isso, foram realizados três estudos. O primeiro foi conduzido em casa de vegetação e utilizou-se um Argissolo Amarelo eutrófico. Os insumos avaliados foram calcário, 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste (subprodutos). As doses foram: 0; 0,5; 1; 2 e 4 vezes a dose recomendada de acordo com o pH SMP do solo e PRNT do calcário para correção do solo até pH 6. O experimento foi implantado em vasos contendo 3,54 kg de solo seco mantidos a uma umidade próxima da capacidade de campo. Determinou-se semanalmente o pH do solo até a sua estabilização e após um período de 4 meses de incubação insumo-solo, foi realizada a determinação dos teores disponíveis dos macronutrientes do solo. Após, teve início o segundo estudo, onde, foi realizada a aplicação de fertilizante NPK e semeadura do milho. As plantas de milho foram colhidas no estádio V7 e tiveram sua massa seca da parte aérea e teores de macro e micronutrientes avaliados. O terceiro estudo foi realizado em casa de vegetação e utilizou-se um Argissolo Amarelo eutrófico e um Planossolo Háplico eutrófico. Os insumos utilizados foram: mistura da 1<sup>a</sup> haste e 2<sup>a</sup> haste, calcário, CaCO<sub>3</sub> p.a., MgCO<sub>3</sub> p.a. e CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Com base no pH SMP do solo e PRNT dos insumos, foram utilizadas diferentes quantidades das fontes para correção do solo até pH 6. A cultura escolhida na condução do experimento foi a cebola, que foi semeada em bandejas flutuantes com substrato e, após, transplantada para vasos contendo 10 dm<sup>3</sup> de solo mantidos à umidade próxima da capacidade de campo. Nesse momento foram aplicados os insumos e fertilizantes NPK. Foram realizadas duas coletas da fitomassa (bulbo + folhas). A primeira foi aos 49 e a segunda aos 77 dias após o transplante. Após, foram determinados os teores de macronutrientes do solo, fitomassa seca e teores de macro e micronutrientes da fitomassa da cebola. Os subprodutos da mineração de calcário mostraram ter potencial para corrigir o pH do solo, porém, em doses mais elevadas do que o calcário. A aplicação dos subprodutos, de forma geral, proporcionou maiores teores de Ca, Mg e S no solo e na planta, além de maior acúmulo dos mesmos nutrientes. Os subprodutos proporcionaram aumento da massa seca da parte aérea das culturas do milho. Para a cebola, de forma geral, não houve diferença estatística entre os insumos.

Palavras-chave: subproduto; insumo; milho; cebola

## ABSTRACT

RODRIGUES, Marlon. **Byproducts of the limestone mining of the Irati Formation as sources of calcium, magnesium and sulfur** 2017. 121 p. Dissertation (Master degree) - Post-Graduation Program in Management and Conservation of Soil and Water, Federal University of Pelotas, Pelotas - Brazil.

Mining is a natural resource exploration that can cause environmental impacts. To promote an appropriate destination for the byproducts of mining is fundamental for economic and environmental return. In this sense, this research has seek to evaluate the use of byproducts from the limestone mining as calcium, magnesium and sulfur sources. For this, three studies were carried out. The first was conducted in a greenhouse and a Paleudalf soil was used. The inputs evaluated were limestone, 1<sup>a</sup> and 2<sup>a</sup> haste (byproducts). The rates were: 0; 0.5; 1; 2 and 4 times the recommended rate according to the SMP pH of the soil and PRNT of the limestone for soil correction up to pH 6. The experiment was carried out in pots containing 3.54 kg of dry soil kept at a humidity near to the field capacity. A weekly determination of soil pH was carried out until its stabilization, and after a period of 4 months of input-soil incubation, the determination of the available macronutrient contents of the soil was carried out. After that, the second study was started, where NPK fertilizer and corn applied. Corn plants were harvested at the V7 stage and had their dry aerial mass and macro and micronutrient contents evaluated. The third study was carried out in a greenhouse with a two soils, Paleudalf and an Albaqualf. The inputs used were: mixing of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> layer, limestone, CaCO<sub>3</sub> p.a., MgCO<sub>3</sub> p.a. e CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Based on soil SMP pH and PRNT of the inputs, different amounts of soil source were used for soil correction until pH 6. The culture chosen (onion) was sown in floating trays with substrate and, after transplanting for pots containing 10 dm<sup>3</sup> of soil kept at a humidity near to the field capacity. At that time NPK inputs and fertilizers were applied. Two phytomass (bulb + leaves) were harvested. The first was at 49 and the second at 77 days after transplanting. After that, the soil macronutrients, dry phytomass and macro and micronutrient contents of the phytomass of the onion were determined. The byproducts of limestone mining have been shown to have the potential to correct soil pH, but at higher rates than limestone. The application of the byproducts, in general, provided higher levels of Ca, Mg and S in the soil and in the plant, besides a greater accumulation of the same nutrients. The byproducts provided an increase in the dry mass of the aerial part of the corn crops. For the onion, in general, there was no statistical difference between the inputs.

Keywords: byproduct; input; corn; onion

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação do pH em água aos 28 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	37
Figura 2 - Teores de Ca (a) e Mg (b) no solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	38
Figura 3 - Teores de S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	39
Figura 4 - Teores de Ca na parte aérea do milho (a) e seu acúmulo (b) em função das doses dos insumos aplicadas.....	44
Figura 6 - Teores de S na parte aérea do milho (a) e seu acúmulo (b) em função das doses dos insumos aplicadas.....	46
Figura 7 - Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	53
Figura 8 - Teores de Ca do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	56
Figura 9 - Teores de Mg do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	57
Figura 10 - Teores de S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	59
Figura 11 - Teores de Ca (a-b) e seu acúmulo (c-d) na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.....	62
Figura 12 - Teores de Mg (a-b) e seu acúmulo (c-d) na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.....	63
Figura 14 – Fitomassa seca da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de nutrientes, alumínio e PN de três diferentes materiais produzidos no processo de mineração de um calcário da Formação Iratí.....	27
Tabela 2 - Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Argissolo Amarelo eutrófico.....	29
Tabela 3 - Distribuição granulométrica dos diferentes insumos utilizados no experimento.....	29
Tabela 4 - PN, Reatividade e PRNT dos diferentes insumos utilizados no experimento.....	30
Tabela 5 - Descrição dos tratamentos.....	31
Tabela 6 - Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Planossolo Háplico eutrófico e um Argissolo Amarelo eutrófico utilizados no estudo III.....	33
Tabela 7 - Fatores de tratamento e doses totais aplicadas das fontes de macronutrientes secundários.....	34
Tabela 8 – Valores do teste F de atributos do solo submetido a aplicação de diferentes insumos.....	35
Tabela 9 - Teores de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ), P, K e Al do solo aos 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	40
Tabela 10 – Valores do teste F para as variáveis teores e acúmulo de Ca, Mg, S e MSPA do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	43
Tabela 11 - Teores de N, P, K e seus acúmulos na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	47
Tabela 12 - Teores de Cu, Zn, Fe e Mn e seus acúmulos na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	50
Tabela 13 – Valores médios de pH do solo (água – 1:1) em função de diferentes insumos aplicados em duas classes de solo.....	55
Tabela 14 - Teores de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ), P e K do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	60
Tabela 15 - Teores de N e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.....	67
Tabela 16 - Teores de P e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.....	69

Tabela 17 - Teores de K e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados. ....	70
Tabela 18 - Teores de Cu e Zn e seus acúmulos na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados. ....	73
Tabela 19 - Teores de Fe e Mn e seus acúmulos na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados. ....	75

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - pH em água após 28 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	95
Apêndice B - Teores de Ca e Mg do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	95
Apêndice C - Teor de S do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	95
Apêndice D - Teor de N mineral (a) e P do solo (b) após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas .....	96
Apêndice E - Teor de K (a) e Al (b) do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.....	96
Apêndice F - Teores de Ca e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	97
Apêndice G - Teores de Mg e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	97
Apêndice H - Teores de S e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	98
Apêndice I - Teores de N (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	98
Apêndice J - Teores de P (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	99
Apêndice K - Teores de K (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.....	99
Apêndice L - Teores de Cu (a) e Zn (c) na parte aérea do milho e seus acúmulos (b-d) em função das doses dos insumos aplicadas. ....	100
Apêndice M - Teores de Fe (a) e Mn (c) na parte aérea do milho (a) e seus acúmulos (b-d) em função das doses dos insumos aplicadas.....	101
Apêndice N - Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das doses dos insumos aplicados.....	101
Apêndice O - Teores de Ca do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	102
Apêndice P - Teores de Mg do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.....	102

Apêndice Q - Teores de S do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo .....	102
Apêndice R - Teores de Ca e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. ....	103
Apêndice S - Teores de Mg e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. ....	103
Apêndice T - Teores de S e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. ....	104
Apêndice U – Produção de fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. ....	104
Apêndice V - Unidades experimentais do Estudo I - Experimento de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico.....	105
Apêndice W - Unidades experimentais do Estudo II - Avaliação agronômica de um subproduto na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico .....	105
Apêndice X - Estudo II - Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico.....	106
Apêndice Y - Estudo II - Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico .....	107
Apêndice Z - Estudo III - Produção das mudas de cebola em bandejas tipo floating. Estádio referente ao momento do transplante.....	107
Apêndice AA - Unidades experimentais do Estudo III - Avaliação dos teores de enxofre de um subproduto em duas classes de solo com cultura da cebola. ....	108
Apêndice BB - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Planossolo.....	108
Apêndice CC - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Argissolo .....	109
Apêndice DD - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Planossolo.....	109
Apêndice EE - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Argissolo. ....	110
Apêndice FF - pH em água do solo em quatro amostragens (Estudo I).....	111
Apêndice GG – Teor de macronutrientes do solo e AI após o período de incubação (Estudo I).....	112

Apêndice HH – Teor de macronutrientes na parte aérea do milho (Estudo II) .....	113
Apêndice II – Teor de micronutrientes e massa seca na parte aérea do milho (Estudo II) .....	114
Apêndice JJ - pH em água do solo em diferentes amostragens (Estudo III) .....	115
Apêndice KK – Teor de macronutrientes do solo (Estudo III).....	116
Apêndice LL - Diâmetro médio transversal do bulbo e MSPA da cebola – dois tempos avaliados (Estudo III).....	117
Apêndice MM – Teor de macronutrientes na fitomassa da cebola (49 DAT) – Estudo III .....	118
Apêndice NN – Teor de micronutrientes na fitomassa da cebola (49 DAT) – Estudo III .....	119
Apêndice OO – Teor de macronutrientes na fitomassa da cebola (77 DAT) – Estudo III .....	120
Apêndice PP – Teor de micronutrientes na fitomassa da cebola (77 DAT) – Estudo III .....	121

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	17
2. HIPÓTESE .....	18
3. OBJETIVOS .....	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
4.1. Formação Iratí .....	19
4.2. Subprodutos da mineração .....	20
4.3. Corretivos agrícolas .....	21
4.4. Subprodutos da mineração como corretivos e fontes de nutrientes .....	23
4.5. Enxofre no solo .....	26
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
5.1. Estudo I - Teste de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico .....	27
5.1.1. Local.....	27
5.1.2. Caracterização do solo, dos insumos e métodos de análises .....	27
5.1.3. Delineamento experimental.....	30
5.1.4. Procedimento experimental e análise estatística .....	31
5.2. Estudo II – Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico .....	31
5.3. Estudo III – Avaliação da disponibilidade de enxofre de um subproduto em duas classes de solo com a cultura da cebola.....	32
5.3.1. Local.....	32
5.3.2. Caracterização do solo.....	32
5.3.3. Delineamento experimental.....	33
5.3.4. Procedimento experimental e análise estatística .....	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
6.1. Estudo I - Teste de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico .....	35
6.1.1. pH, cálcio, magnésio e enxofre do solo.....	35

6.1.2. Nitrogênio mineral, fósforo, potássio e alumínio do solo .....	40
6.2. Estudo II - Avaliação agronômica do uso de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico.....	42
6.2.1. Cálcio, magnésio e enxofre da parte aérea do milho .....	42
6.2.2. Nitrogênio, fósforo e potássio da parte aérea do milho .....	46
6.2.3. Cobre, zinco, ferro e manganês da parte aérea do milho .....	49
6.2.4. Produção de massa seca da parte aérea do milho .....	52
6.3. Estudo III - Avaliação da disponibilização de enxofre de um subproduto para a cultura da cebola em duas classes de solo.....	54
6.3.1. pH, cálcio, magnésio e enxofre do solo.....	54
6.3.2. Nitrogênio mineral, fósforo e potássio do solo .....	59
6.3.2. Cálcio, magnésio e enxofre da fitomassa da cebola .....	61
6.3.3. Nitrogênio, fósforo e potássio da fitomassa da cebola .....	65
6.3.4. Cobre, zinco, ferro e manganês da fitomassa da cebola .....	70
6.3.5. Produção de fitomassa da cebola .....	76
7. DISCUSSÃO GERAL .....	77
7.1. Estudo I.....	77
7.2. Estudo II.....	78
7.3. Estudo III .....	79
8. CONCLUSÕES .....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
Apêndices.....	94

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma exploração de recurso natural que pode causar impactos ambientais tanto na área minerada, como também nas áreas próximas. A qualidade da água pode ser afetada pela deposição de resíduos, contaminação do lençol freático e assoreamento dos cursos d'água. No solo, a retirada da cobertura vegetal pode provocar erosão. A detonação de explosivos prejudica a qualidade do ar. Fauna e flora também são comprometidas com a modificação do ambiente natural (TONIETTO & SILVA, 2011).

Normalmente os subprodutos da mineração do calcário são descartados em aterros ou depositados no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento. As mineradoras que realizam suas atividades em minas a céu aberto descarregam o minério em britadores primários, que alimentam as usinas de beneficiamento ou pilhas de homogeneização e os subprodutos são descarregados nas pilhas de deposição (RODRIGUES & PINTO, 2012). A mistura dos minérios de várias frentes de lavra ou de distintas minas, geralmente é uma prática necessária para garantir a uniformidade da alimentação (CHANDA & DAGDELEN, 1995).

Segundo o IPEA (2012) 262 milhões de toneladas de subprodutos de mineração de calcário serão produzidas de 2017 até 2030. Nesse sentido, promover um destino adequado aos subprodutos da mineração é fundamental para um ganho econômico e ambiental.

Diante dos problemas levantados, e de oportunidades de aproveitamento agrícola, visou-se avaliar a utilização dos subprodutos produzidos no processo de mineração de calcário oriundos da Formação Irati, proporcionando um destino adequado aos mesmos. Esses subprodutos foram denominados, de acordo com a profundidade a qual são encontrados, de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, sendo o primeiro extraído na camada superior e o segundo na camada inferior, logo acima do banco de calcário. Com base nos atributos químicos dos subprodutos, pode-se notar potencial de uso como insumos que fornecem cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

A maioria dos solos do Brasil são ácidos, porém existem outros impedimentos ao desejável desenvolvimento das culturas, como a deficiência de S ocorrida em muitos solos. Em trabalho realizado em solos do RS, onde os teores de S eram  $\leq 6,4$  mg dm<sup>-3</sup>, houve aumento na produtividade em lavoura de arroz-irrigado, quando aplicou-se entre 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de S (CARMONA, 2009). Segundo Malavolta (1980), a soja é mais exigente que o milho e o trigo na demanda por S, requerendo do solo

cerca de 8,2 kg de S para cada tonelada produzida, enquanto o milho e o trigo exigem respectivamente, 2,6 kg e 4,3 kg ton<sup>-1</sup> grão. Wilson Jr. et al. (2006) estabeleceram a recomendação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de S em solos deficientes nesse nutriente nos EUA. Já, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina CQFS-RS/SC (2016) agrupam as culturas de acordo com suas exigências em S, estabelecendo dois níveis de suficiência de S no solo, extraíveis com fosfato monocálcico: 10 mg dm<sup>-3</sup> para as espécies das famílias das fabáceas, brassicáceas e liliáceas, e de 5 mg dm<sup>-3</sup> para as demais.

A utilização dos subprodutos como fontes de nutrientes, principalmente Ca, Mg e S pode proporcionar incremento na produtividade agrícola em solos deficientes desses minerais e em plantas exigentes dos mesmos. Diante disso, o trabalho foi subdividido em três estudos com o objetivo de elucidar o comportamento dos subprodutos no solo e nas plantas. O primeiro estudo foi um teste de incubação dos subprodutos e calcário em diferentes doses no solo. Foi então avaliado o pH do solo bem como os teores de macronutrientes e alumínio. O segundo estudo foi uma continuação do primeiro. Após a incubação dos insumos com o solo, foi realizada a semeadura do milho, o qual, teve seus teores de nutrientes da parte aérea avaliados assim como a produção de massa seca da parte aérea. O terceiro estudo foi conduzido de forma a permitir que os subprodutos expressassem seu potencial como fornecedores de enxofre ao solo e as plantas. Para isso, foram utilizadas duas classes de solo contrastantes nos teores de S e uma cultura exigente (cebola). Teores de macronutrientes e pH do solo foram avaliados assim como macro e micronutrientes e produção da fitomassa da cebola.

Atualmente, o principal destino dos subprodutos é a pavimentação de estradas. Diante da escassez das reservas de fertilizantes e da grande demanda de insumos na agricultura, realocar os subprodutos para a produção de alimentos é fundamental para um ganho social, ambiental e até mesmo econômico.

## 2. HIPÓTESE

Os diferentes subprodutos oriundos do processo de extração do calcário da Formação Irati corrigem a acidez e disponibilizam cálcio, magnésio e enxofre ao solo, favorecendo o acúmulo dos mesmos nutrientes e a produção de fitomassa das plantas.

### 3. OBJETIVOS

Avaliar o efeito dos subprodutos na correção da acidez e nos teores de cálcio, magnésio e enxofre no solo.

Avaliar o efeito dos subprodutos nos teores e acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre e na produção de massa seca da parte aérea do milho e na fitomassa seca da cebola.

Avaliar o potencial agronômico de uso dos subprodutos como fontes de cálcio, magnésio e enxofre para as plantas de milho e cebola.

### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 4.1. Formação Iratí

Os subprodutos avaliados são oriundos de uma mineração de calcário localizada na Formação Iratí. Essa, por sua vez, pertence à chamada Bacia Sedimentar do Paraná que é amplamente conhecida por seu caráter fossilífero originado há aproximadamente 250 milhões de anos (ZALÁN et al., 1986). A Bacia do Paraná ocupa uma área de 1 milhão de km<sup>2</sup>, abrangendo, no Brasil, os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e parte do Uruguai, Paraguai e Argentina. Possui o formato aproximado de um anzol alongado na direção NNE, com aproximadamente 1700 km de comprimento e 1000 km de largura, sendo essa conformação resultado de eventos epirogênicos de diferentes intensidades (HACHIRO, 1997).

A Formação Iratí está cronoestratigraficamente situada no Permiano Superior e registra o máximo da inundação da Bacia do Paraná no final do Paleozóico (MILANI et al., 2007). Essa bacia possui diversos ciclos de sedimentação (FÚLFARO, 1972). Dessa maneira, cada unidade estratigráfica representa um ambiente de deposição consideravelmente diferente das unidades adjacentes. No contexto do preenchimento sedimentar da Bacia do Paraná, a Formação Iratí está compreendida na Sequência Gondwana I (Neocarbonífero – Eotriássico), constituindo a base do grupo Passa Dois no Permiano (Neo-artinskiano) (SANTOS et al., 2006a).

A Formação Iratí corresponde a um intervalo de sedimentação químico-siliciclástica, sendo subdividida em dois Membros: Assistência (superior) e Taquaral (inferior). O primeiro (objeto do presente estudo) é caracterizado por uma sequência superior composta por horizontes de calcários dolomíticos intercalados com folhelhos pirobetuminosos, depositada em ambientes marinhos de água rasas (ARAÚJO, 2001).

Já no Membro Taquaral, ocorrem folhelhos com rochas silexíticas e carbonáticas, depositados em ambiente marinho de águas calmas (abaixo do nível de ação das ondas) - (HACHIRO, 1993).

A espessura média da Formação Iratí é de aproximadamente 25 metros, sendo que em muitos locais não ultrapassa 10 metros, enquanto que em outros pode atingir de 30 a 35 metros (MENDES & PETRI, 1971).

#### **4.2. Subprodutos da mineração**

Há muitos anos a mineração desenvolve importante papel no setor econômico brasileiro. De acordo com dados oficiais do IBRAM (2014), apenas em 2013 a indústria de mineração exportou mais de 40 bilhões de dólares, ou seja, aproximadamente 17% de toda a exportação nacional, que foi superior à 240 bilhões de dólares.

A indústria da mineração está difundida por todo o território nacional, sendo uma importante fonte econômica. Aproximadamente 160 mil trabalhadores diretos e mais de 1,5 milhões de trabalhadores indiretos atuam neste setor (PEREIRA JR., 2011). A produção de calcário é estimada em 100 milhões de toneladas por ano, ficando atrás somente do minério de ferro (390 milhões de toneladas) – (IPEA, 2012).

Nos dias atuais, a procura pela diminuição dos resíduos é de fundamental importância para qualquer setor da economia, incluindo o setor de mineração. Evidentemente, em muitos casos esta é uma meta difícil de alcançar, todavia, deve-se sempre buscar o menor volume de resíduo possível, seja por aperfeiçoamento do processo de beneficiamento, ou até mesmo utilizando o resíduo para algum fim.

Segundo IBRAM (2014) as mineradoras buscam diversas formas de atenuar ou resolver os problemas associados à geração de resíduos, tais como:

- Formação de montanhas de rejeitos e resíduos sólidos, próximos ao local de mineração;
- Utilização de resíduos sólidos na construção civil, em substituição à outros materiais;
- Uso do resíduo sólido para soterramento de vales formados pelo ato da mineração;
- Utilização de resíduos sólidos como pavimentos de estradas;
- Construção de barreiras de contenção para armazenar resíduos líquidos;
- Utilização do resíduo como condicionadores do solo para a agricultura.

Rodrigues et al. (2002) destacam que após ser analisada a eficácia de uma nova tecnologia sobre o uso de insumos, como contribuição para a sustentabilidade da atividade agrícola, deve-se atentar para os impactos da inovação tecnológica sobre a conservação ambiental. Os impactos podem ser estimados através de indicadores de emissão de poluentes, relacionados com comprometimento potencial da qualidade ambiental dos compartimentos solo, atmosfera e água. Assim sendo, os indicadores de conservação ambiental são: a qualidade do solo (indicador fundamental da sustentabilidade das atividades agrícolas), qualidade da atmosfera, qualidade da água e qualidade da diversidade biológica (LANNA, 2002). Plantas podem fornecer uma resposta às perturbações do meio, podendo servir como alerta de desequilíbrio ambiental (RICKLEFS, 2009).

Há atualmente a necessidade de iniciativas para o aproveitamento de subprodutos da mineração que devem se multiplicar, tanto por razões econômicas (economicidade do empreendimento, retorno sobre investimentos em pesquisa e aproveitamento de um subproduto) quanto por razões ambientais (minimização de resíduos). É um campo promissor de pesquisa que pode ser associado ao desenvolvimento de novos produtos que podem agir como corretivos do solo e fontes de nutrientes para as plantas, dando o destino adequado aos subprodutos do processo de mineração.

#### **4.3. Corretivos agrícolas**

A maioria dos solos do Brasil são ácidos. A acidez, representada basicamente pela presença de íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , tem origem pela lixiviação dos nutrientes do solo, pela retirada dos nutrientes catiônicos pela colheita e, também, pela utilização de fertilizantes de caráter ácido, como adubos nitrogenados amoniacais. A acidez dos solos causa o aparecimento de elementos tóxicos para as plantas além de acarretar a diminuição da disponibilidade de nutrientes para essas. Os resultados são prejuízos financeiros causados pela menor produtividade das culturas. Deste modo, a correção da acidez do solo é considerada como uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos fertilizantes e consequentemente, da produtividade e da rentabilidade agropecuária (LOPES et. al., 2002).

Corretivos de acidez são materiais que contém compostos de Ca e Mg capazes de neutralizarem a acidez do solo. Os principais são: cal apagada, cal virgem, calcário calcinado, conchas marinhas moídas, cinzas e calcário (sendo esse o mais utilizado).

Tanto o preço como a eficiência são bastante variáveis de acordo com o corretivo. A efetividade do corretivo é dada pelo valor do PRNT, ou seja, poder relativo de neutralização total. Quanto maior for o seu PRNT, mais eficiente e rápido será este corretivo (SILVA, 1994).

O Brasil é autossuficiente na produção de calcário e vem crescendo nos últimos anos, registrando um aumento de 22% no período 2003-2008, atingindo um total de 107 milhões de toneladas em 2008, com uma tendência de crescimento no futuro (IPEA, 2012). Em 2007, o valor da produção ultrapassou US\$ 1,35 bilhão, sendo mais de 80% desse valor referente ao calcário beneficiado, gerando emprego a quase 12 mil trabalhadores (SILVA, 2009).

Segundo Fassbender (1982) a calagem tem efeitos positivos sobre as propriedades do solo. Quanto às condições químicas, pode-se citar: aumento da quantidade de hidroxilas e diminuição de íons de hidrogênio na solução do solo; diminuição da toxicidade de alumínio, manganês e ferro; regulação da disponibilidade de fósforo e molibdênio; aumento da disponibilidade de cálcio e magnésio; aumento da porcentagem de saturação de bases; dependendo da natureza e constituição, poderá ainda elevar o teor de alguns micronutrientes no solo. Quanto às propriedades físicas pode-se citar: melhorias na agregação de partículas e estrutura, melhores condições de aeração e movimento de água. Já para condições biológicas observa-se melhoria de desenvolvimento dos microrganismos, aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica e melhoria nos processos de nitrificação, amonificação e fixação biológica de nitrogênio.

Raij et al. (1983), contrastando o efeito da calagem na produção com a diminuição dos teores de alumínio do solo, verificaram que a diminuição do elemento trocável no solo não apresenta relação linear com a produção, pois essa continua aumentando mesmo quando o alumínio já praticamente não ocorre. Já os valores de saturação, por outro lado, representaram melhor o efeito da calagem na produção das culturas estudadas. O pH máximo atingido foi 5,9 e também seguiu os resultados de produtividade, sendo a produção máxima de grãos de milho atingida com valores de saturação de bases acima de 60%.

A adição de micronutrientes no processo de calagem tem apresentado resultados que variam principalmente com as condições de formação do material corretivo estudado. Chichilo & Whittaker (1961) estudando a adição de micronutrientes no processo de calagem em uma rotação de culturas, afirmaram que 75% dos

calcários por eles estudados poderiam suprir as necessidades de Mn, 99% compensariam a retirada de Fe do solo, 12% supririam a necessidade de Zn, ao passo que as quantidades de Cu raramente supriam as quantidades retiradas do solo pelas culturas.

Valadares et al. (1974), analisando 31 calcários usados como corretivos de solo no estado de São Paulo, interpretaram que as quantidades de micronutrientes acrescentadas ao solo via calcários são muito pequenas quando comparadas àquelas adicionadas na forma de fertilizante. Mesmo assim, avaliaram que 2 Mg ha<sup>-1</sup> dos calcários poderiam suprir as quantidades de Mn e Fe retiradas pelas culturas de cana-de-açúcar, café e soja. Para o Zn, os valores adicionados seriam inferiores aos exigidos e, por fim, no caso do Cu, este balanço varia de acordo com a cultura.

Amaral et al. (1994) estudando a liberação de micronutrientes de quatro corretivos de acidez, observaram aumento no teor de Fe, Mn e Zn da parte aérea de plantas de alface com a aplicação desses.

Já Gonçalves et al. (2009) estudando a utilização homeopática do calcário de conchas na cultura da cebola, observaram aumento na qualidade dos bulbos e produtividade, além de redução na população de tripes. A calagem é uma prática que proporciona melhoria das condições de desenvolvimento das plantas, possibilitando escapar de altas infestações populacionais do tripes.

#### **4.4. Subprodutos da mineração como corretivos e fontes de nutrientes**

A atividade de mineração produz basicamente dois tipos de resíduos pelos processos de lavra e/ou beneficiamento, que são os estéreis e os rejeitos. Normalmente os primeiros possuem pouco ou nenhum mineral útil, diferentemente dos rejeitos, que apresentam minerais de interesse agrícola e econômico na sua composição e podem também serem chamados de subprodutos. As quantidades geradas desses resíduos são muito grandes e dependem dentre outros fatores, da localização da jazida em relação à superfície e do processo utilizado para extração do minério (IPEA, 2012).

Mesmo sendo um dos principais produtores de alimentos, o Brasil se caracteriza por apresentar alta dependência externa por insumos utilizados na fabricação de fertilizantes. O aproveitamento de subprodutos na agricultura como corretivos do solo e fonte de nutrientes é uma prática crescente e que pode contribuir para diminuir a dependência externa do Brasil por fertilizantes. Segundo Rocha et al.

(2013), os subprodutos contendo minerais que se intemperizam rapidamente e liberam nutrientes apresentam potencial para uso na agricultura.

A Formação Iratí é uma riqueza mineral importante para a economia do Brasil, sendo que o calcário extraído é um importante corretivo de solo utilizado na agricultura. Como em outros casos de minerações de calcário, há grande produção de resíduos. A proporção minério : resíduos, em algumas jazidas, chega a 1 : 13 (SOUZA, 1999). Os resíduos ou subprodutos encontrados são misturas de marga, xisto, carbonatos orgânicos, entre outros, que podem ser aproveitados como corretivos, fontes de nutrientes e/ou condicionadores de solo. O uso de condicionadores de solo é uma alternativa interessante na recuperação de solos degradados, pelo uso intensivo e inadequado. Beauclair et al. (2007), consideram que, condicionadores de solo, são produtos associados a fontes de macronutrientes e micronutrientes, capazes de melhorar aspectos físicos, químicos e biológicos.

A utilização de rochas moídas e subprodutos como fonte de nutrientes às plantas é uma prática realizada há milhares de anos. No Brasil, essa prática também é denominada de “rochagem”, termo inspirado na calagem, que é o uso do pó de rocha calcária na correção da acidez do solo e como fonte de nutrientes (LEONARDOS, 1995) e na fosfatagem (MEERT et al., 2009). De acordo com Amparo (2003) o uso do pó de rochas apresenta as seguintes vantagens em relação aos fertilizantes solúveis: economia de mão-de-obra, uma vez que, apresentando baixa solubilidade dispensa a frequente adubação; não acidifica o solo e ao contrário pode apresentar potencial de correção da acidez; não saliniza o solo; evita que a planta absorva mais do que o necessário, como ocorre com o nitrogênio e o potássio, assim favorece a absorção de Ca e Mg; diminui a fixação do P solúvel pela presença de sílica; baixo custo, pois a matéria-prima é de fácil exploração e encontra-se distribuída em todas as regiões do país.

Segundo Pádua (2012), a utilização de fontes alternativas pode complementar às práticas tradicionalmente utilizadas no Brasil, tornando-se uma importante técnica de melhoria do solo, preconizada, a princípio, para pequenos produtores e em escala regional. A diversidade de matérias-primas com potencial para uso como agrominerais e a ampla distribuição geográfica são fatores preponderantes para tal perspectiva. Contudo, segundo o mesmo autor, ainda há grande carência de conhecimentos sobre quais materiais tem potencial de uso e quais métodos são mais indicados para

análises, determinação de dosagens, granulometria ideal, formas de se aumentar a solubilidade destes materiais e desempenho de diferentes culturas.

Bertossi et al. (2012) avaliando a influência do uso de um subproduto do beneficiamento de rochas ornamentais em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, observaram que a aplicação do subproduto proporcionou aumento na condutividade elétrica, pH, cálcio, magnésio, potássio, sódio e manganês do solo. Já Raymundo et al. (2013) avaliando a capacidade de neutralização da acidez de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico através da comparação entre um calcário comercial e um resíduo de mármore serrado, verificaram que esse último apresentou potencial para uso como corretivo de acidez de solo, com reatividade inicial superior à do calcário comercial.

Santos et al. (2006b) avaliaram o efeito da fertilização do solo com folhelho pirobetuminoso, marga dolomítica e fontes de fósforo para a cultura de soja. Sabendo que a respiração basal é um indicador da decomposição de resíduos, do giro metabólico e do carbono orgânico do solo, mediram o quociente metabólico dos microrganismos e concluíram que o folhelho pirobetuminoso e a marga dolomítica, insumos avaliados como fonte de nutrientes, não promoveram a redução da atividade microbiana do solo estudado.

Avaliando os efeitos do Xisto Retortado no solo e no crescimento vegetativo do milho (*Zea mays* L.), Chaves & Vasconcelos (2006) constataram um significativo aumento dos teores de enxofre e silício no solo, porém, nos parâmetros de desenvolvimento analisados (diâmetro de caule, altura de planta, peso verde e peso seco), não foi verificado, para a quantidade adicionada de Xisto Retortado, efeitos significativos no crescimento da planta.

Algumas vantagens podem ser atribuídas à utilização de subprodutos de mineração, como: fornecimento de vários nutrientes ao mesmo tempo, devido à composição variada desses agrominerais e a disponibilização de nutrientes de forma mais gradual. Segundo Machado et al. (2014), abranger estes subprodutos nas práticas de adubação pode tornar-se uma tática interessante para elevar a fertilidade do solo e torná-lo mais produtivo, possibilitando uma diminuição do uso de fertilizantes solúveis convencionais e dos riscos ambientais relacionados ao seu uso, podendo também reduzir os custos de produção no campo, tornando mais rentável a atividade agrícola.

#### 4.5. Enxofre no solo

O enxofre é um nutriente essencial para as plantas. Sua determinação é realizada através da extração com  $\text{CaHPO}_4$ , ataque da amostra com  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$  3:1, precipitação com  $\text{BaCl}_2$  e determinação gravimétrica do precipitado. A determinação turbidimétrica do sulfato baseia-se na turbidez formada pela precipitação do enxofre pelo cloreto de bário, na forma de sulfato de bário, sendo medida essa turbidez em colorímetro ou espectrofotômetro na forma de transmitância ou absorbância (EMBRAPA, 1997).

A capacidade de suprimento de enxofre do solo é influenciada por práticas como a calagem, que ao elevar o pH, diminui a capacidade de adsorção aniónica do solo (COUTO et al., 1979). Além disso, a calagem, através da criação de um ambiente mais propício para a atividade microbiana, influencia a taxa de mineralização do enxofre orgânico. Quando o  $\text{SO}_4^{2-}$  acumulado não é removido por absorção por plantas ou lixiviação, os efeitos combinados de aumento de mineralização e decréscimo de adsorção de sulfato resultam em um aumento na disponibilidade de enxofre para as plantas (KORENTAJER et al., 1983).

Estudando dois tipos de solo, Kamprath et al. (1956) constataram que a maior adsorção de sulfato ocorreu a pH 4,0, que foi o pH mais baixo estudado. No solo em que predominava minerais do tipo 1:1 houve uma pequena redução na quantidade de sulfato adsorvido quando o pH passou de 4 para 5 e uma notável redução quando o pH atingiu 6. Já no solo que continha minerais 2:1, não foi encontrado sulfato adsorvido nem a pH 5 ou 6. Estes resultados sugerem que pouco sulfato poderá estar ligado à superfície dos coloides quando o solo for calcariado e atingir pH 6 ou mais. Além disso, segundo Dos Anjos (1991), existem calcários com teores expressivos de S em sua composição, podendo constituir-se importante fonte para o solo, como é o caso dos calcários encontrados na Formação Iratí.

Horowitz (2003), estudando o teor de S em 42 solos de vários estados do Brasil, classificou como deficientes solos que continham valores inferiores a  $5,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , sendo estes das classes: Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho.

Normalmente, na recomendação de adubação de cada região existe um agrupamento das culturas de acordo com a exigência em S. A CQFS-RS/SC (2016), estabelece dois níveis de suficiência de S para as plantas: de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  para as espécies das famílias das brassicáceas, fabáceas e liliáceas, e de  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  para as outras.

Diante das considerações apresentadas, foram realizados três estudos a fim de elucidar o comportamento dos subprodutos no solo e nas plantas de milho e cebola.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização dos insumos utilizados nos três estudos está presente na Tabela 1. Nota-se que a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste possuem maiores teores de micronutrientes, S, P e K do que o calcário, contudo, apresentam menores teores de Ca, Mg e, consequentemente, menor poder de neutralização (PN).

Pela legislação brasileira, o calcário agrícola deve ter PN  $\geq$  67%, soma de CaO e MgO  $\geq$  38%, além de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)  $\geq$  45%. Com base nessas informações nota-se que não é permitida a comercialização da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste como corretivos da acidez do solo.

Tabela 1 - Teores de nutrientes, alumínio e PN de três diferentes materiais produzidos no processo de mineração de um calcário da Formação Iratí.

Insumo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	PN	Co	Cu	Mo	Ni	Zn
	----- % -----								----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
1 <sup>a</sup> haste	3,57	13,9	4,73	0,72	11,92	0,40	0,13	1,54	54	12,6	15,9	2,7	7,1	28
2 <sup>a</sup> haste	3,55	13,7	4,30	0,69	12,58	0,30	0,15	1,70	56	11,0	18,6	4,8	7,6	37
Calcário	0,95	25,8	0,76	0,19	18,36	0,20	0,06	0,33	92	3,2	4,8	2,2	2,6	10

### 5.1. Estudo I - Teste de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico

#### 5.1.1. Local

O trabalho foi implantado em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, RS. A região de estudo, segundo a classificação de Köppen, é classificada como de clima mesotérmico úmido e temperado (Cfb).

#### 5.1.2. Caracterização do solo, dos insumos e métodos de análises

Para condução do experimento utilizou-se solo proveniente do Centro Agropecuário da Palma/Capão do Leão – RS coletado em área de campo natural cujo solo é classificado, conforme Streck et al. (2008), como Argissolo Amarelo eutrófico. As amostras foram coletadas na camada superficial (0-20 cm), em seguida expostas ao ar, destorreadas e passadas em peneira de 1 cm de malha. Previamente à instalação do experimento foi realizada a caracterização físico-química do solo e dos insumos utilizados.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), sendo a dispersão proporcionada pelo emprego de hidróxido de sódio 1 N e agitação mecânica lenta por 16 horas.

A acidez ativa foi determinada segundo a técnica descrita por Tedesco et al. (1995) e consistiu na leitura do pH, após agitação e repouso de 30 minutos, de uma porção de solo (10 mL) misturada ao mesmo volume de água destilada.

A acidez potencial foi avaliada de duas formas. Indiretamente pela mudança de pH da amostra frente ao tampão SMP. Esta alteração no valor de pH resultou da adição de 5 mL da solução tampão SMP (SHOEMAKER et al., 1961), após 20 minutos de repouso (TEDESCO et al., 1995).

A acidez potencial foi também avaliada por titulação, com hidróxido de sódio 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, de uma alíquota de 25 mL do extrato de 5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e 75 mL de acetato de cálcio hidratado 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH 7,0), previamente agitada por 30 minutos. Neste caso, o volume consumido na titulação é proporcional à concentração de H+Al presentes nas amostras.

O teor de matéria orgânica foi determinado, segundo o método de combustão de Walkley-Black descrito em Tedesco et al (1995), que consiste em oxidar os compostos orgânicos, na presença de ácido sulfúrico, com dicromato de potássio 1 N. O volume de dicromato de potássio remanescente da oxidação do carbono foi titulado com solução de sulfato ferroso 0,5 M.

O N mineral foi extraído do solo úmido com KCl 1mol L<sup>-1</sup>; após a extração procedeu a destilação a vapor empregando-se MgO e liga de devarda para a determinação de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, conforme Tedesco et al. (1995).

A análise de alumínio, cálcio e magnésio foi realizada por extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> segundo Tedesco et al. (1995). Na determinação, pesou-se 5 gramas de terra fina seca em estufa (TFSE) e foram colocadas em frasco “snap-cap” de 100 ml e adicionou-se 50 ml de solução cloreto de potássio (KCl) 1 mol L<sup>-1</sup>. Após agitação de 30 minutos em agitador horizontal com 120 rpm e repouso por 16 horas, retirou-se uma alíquota de 25 ml do sobrenadante, para a determinação titulométrica do alumínio e 5 ml para as determinações de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

A capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) no pH original do solo foi calculada pela soma das bases trocáveis Ca, Mg, K e Na e somado ao Al trocável e o resultado expresso em centimol de carga por quilograma de solo (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).

A saturação por bases representa a proporção (%) da CTC a pH 7,0 (potencial) ocupada por bases trocáveis Ca, Mg, K, e Na.

O teor de fósforo disponível foi determinado em espectrofotômetro com comprimento de onda de 660 nm. As leituras foram efetuadas após extração ácida (Mehlich-I) e repouso por 16 horas, conforme Tedesco et al. (1995). A partir dos mesmos extratos, foram retiradas alíquotas para a avaliação simultânea de potássio disponível, sendo as leituras obtidas em fotômetro de chama (TEDESCO et al., 1995).

O teor de sulfato foi determinado conforme metodologia detalhada no subitem enxofre no solo deste presente trabalho.

Na Tabela 2, estão descritos atributos físico-químicos do solo utilizado no Estudo I.

Tabela 2 - Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Argissolo Amarelo eutrófico.

Solo	Argila	M.O. <sup>1</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (SMP)	H+AI	AI	Ca	Mg	CTCe <sup>2</sup>	CTCp <sup>3</sup>	K	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	V <sup>4</sup>
--- g kg <sup>-1</sup> ---						----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						-- mg kg <sup>-1</sup> --	
Argissolo	250	20,9	5,2	6,3	3,9	0,6	1,5	0,9	3,2	6,5	39,63	9,4	39,5

<sup>1</sup> Matéria orgânica; <sup>2</sup> Capacidade de troca de cátions efetiva; <sup>3</sup> Capacidade de troca de cátions potencial; <sup>4</sup> Saturação por bases.

Na Tabela 3, está descrita à distribuição granulométrica dos insumos que foram utilizados nos experimentos. Nota-se que todos os materiais passaram na peneira de 0,3 mm, caracterizando-os como de granulometria “filler”.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica dos diferentes insumos utilizados no experimento.

Peneira (mm)	Calcário (%)	1 <sup>a</sup> haste (%)	2 <sup>a</sup> haste (%)
> 0,30	0	0	0
0,3 - 0,25	5,7	31,4	46,1
0,25 - 0,10	41,4	41,9	24,1
0,10 - 0,054	51,2	25,8	29,1
0,054 - 0,037	1,7	0,9	0,8
< 0,037	0,08	0,05	0
Total	100	100	100

O poder de neutralização (PN) dos insumos foi determinado conforme o método geral descrito por Tedesco et al. (1995), utilizando HCl e NaOH.

Na Tabela 4, está representado o PN determinado em laboratório (conforme detalhado anteriormente) e calculado com base nos teores de CaO e MgO, reatividade e poder relativo de neutralização total (PRNT) dos insumos utilizados nos experimentos. As fontes utilizadas foram um calcário dolomítico e dois subprodutos da extração do calcário, denominados de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> hastes. A distribuição granulométrica foi 100% < 0,3 mm, o que confere uma reatividade teórica de 100% e PRNT de 91,8% para o calcário e 54,5% e 55,8% para a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente.

Tabela 4 - PN, Reatividade e PRNT dos diferentes insumos utilizados no experimento.

Parâmetro	Insumo		
	Calcário	1 <sup>a</sup> haste	2 <sup>a</sup> haste
PN (determinado)	93,9	60,6	58,1
PN (calculado)	91,8	54,5	55,8
Reatividade	100,0	100,0	100,0
PRNT (calculado)	91,8	54,5	55,8
CaO (%)	25,8	13,9	13,7
MgO (%)	18,4	11,9	12,6
CaO + MgO (%)	44,2	25,8	26,3

### 5.1.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 3 repetições. O delineamento de tratamentos foi em arranjo fatorial: Fator A – Tipo de insumo: 1<sup>a</sup> haste, 2<sup>a</sup> haste e calcário e Fator B – Doses de insumo: 0; 0,489; 0,978; 1,956 e 3,912 g kg<sup>-1</sup>. Estas doses equivalem a 0; 0,5; 1; 2 e 4 vezes a dose do calcário recomendada pelo índice SMP do solo para atingir pH 6. Os materiais das hastes 1 e 2 foram aplicados nas mesmas doses em peso.

Os tratamentos estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos.

Tipo de insumo	Tratamentos (dose x SMP)	Dose (g kg <sup>-1</sup> )	Quantidade totais (g kg <sup>-1</sup> )		
			CaO	MgO	S
	Testemunha	0,0	-	-	-
1 <sup>a</sup> haste	0,5	0,489	0,068	0,058	0,0075
	1,0	0,978	0,136	0,117	0,0151
	2,0	1,956	0,272	0,233	0,0301
	4,0	3,912	0,544	0,466	0,0602
2 <sup>a</sup> haste	0,5	0,489	0,067	0,062	0,0083
	1,0	0,978	0,134	0,123	0,0166
	2,0	1,956	0,268	0,246	0,0333
	4,0	3,912	0,536	0,492	0,0665
Calcário	0,5	0,489	0,126	0,090	0,0016
	1,0	0,978	0,252	0,180	0,0032
	2,0	1,956	0,505	0,359	0,0065
	4,0	3,912	1,010	0,718	0,0130

#### 5.1.4. Procedimento experimental e análise estatística

O experimento foi implantado em vasos contendo 3,54 kg de solo seco. O controle de umidade do solo no período experimental visou manter valores próximos à capacidade de campo do solo em questão. Inicialmente foi realizada a determinação semanal do pH do solo até a sua estabilização, que ocorreu aos 28 dias. O período total de incubação do solo com os insumos foi de 4 meses. Após a incubação foram realizadas as análises de diferentes elementos químicos do solo: N mineral, P, K, Ca, Mg, S e Al, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e comentada anteriormente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis apresentaram efeito significativo para os fatores estudados, procedeu-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro no caso do fator qualitativo (Tipo de insumo) e de regressão polinomial para o fator quantitativo (Doses dos insumos).

#### 5.2. Estudo II – Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico

O Estudo II foi uma continuação do Estudo I. Após o período de incubação dos insumos com o solo, foi semeado a cultivar de milho (*Zea mays*) SHS 4080. Os tratamentos foram os mesmos do Estudo I, com a adição de fertilizantes NPK. A fonte nitrogenada foi a ureia na dose de 20 mg kg<sup>-1</sup> na semeadura e o restante (80 mg)

dividido de forma igual nos estádios V3 e V5, totalizando assim 100 mg de N por kg de solo. Para a correção de P foi utilizado Super fosfato triplo na dose de 100 mg kg<sup>-1</sup> na semeadura. Já para a correção de K foi utilizado KCl na dose de 100 mg kg<sup>-1</sup> na semeadura.

Foram semeadas 8 sementes por vaso, e quando a planta atingiu o estádio V1 foi realizado o raleio, deixando 4 plantas por vaso. A colheita do milho foi realizada no estádio V7, 30 dias após a semeadura. Ao término do experimento foi avaliado o acúmulo de massa seca, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea do milho seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis apresentaram efeito significativo para os fatores estudados, procedeu-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro no caso do fator qualitativo (Tipo de insumo) e de regressão polinomial para o fator quantitativo (Doses de insumo).

### **5.3. Estudo III – Avaliação da disponibilidade de enxofre de um subproduto em duas classes de solo com a cultura da cebola**

#### **5.3.1. Local**

O estudo foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Clima Temperado – Estação Terras Baixas, no município de Capão do Leão, RS. A região de estudo, segundo a classificação de Köppen, é classificada como de clima mesotérmico úmido e temperado (Cfb).

A casa de vegetação dotava de sistema de controle de temperatura ajustado para uma temperatura de 25 °C, com oscilação entre 19 e 27 °C.

#### **5.3.2. Caracterização do solo**

Para condução do experimento foram utilizadas porções de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm) de um Planossolo Háplico eutrófico e de um Argissolo Amarelo eutrófico (STRECK et al., 2008). Após a coleta, foram expostas ao ar, destorreadas e passadas em peneira de 1 cm de malha. O primeiro solo apresenta deficiência na disponibilidade de S no solo, diferentemente do segundo, que, normalmente, apresenta teores suficientes (Tabela 6).

Na Tabela 6, estão descritos os atributos físicos e químicos dos solos utilizados no estudo III.

Tabela 6 - Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Planossolo Háplico eutrófico e um Argissolo Amarelo eutrófico utilizados no estudo III.

Solo	Argila	M.O. <sup>1</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (SMP)	H+Al	Al	Ca	Mg	CTC <sub>e</sub> <sup>2</sup>	CTC <sub>p</sub> <sup>3</sup>	K	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	V <sup>4</sup>
--- g kg <sup>-1</sup> ---													
Planossolo	78	10,5	5,2	6,7	1,8	0,2	2,3	0,6	3,4	5,0	47,4	3,5	64,0
Argissolo	250	20,9	5,2	6,1	3,9	0,6	1,5	0,9	3,2	6,5	39,6	9,4	39,5

<sup>1</sup> Matéria orgânica; <sup>2</sup> Capacidade de troca de cátions efetiva; <sup>3</sup> Capacidade de troca de cátions potencial; <sup>4</sup> Saturação por bases.

### 5.3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental escolhido foi blocos casualizados em arranjo fatorial 5x2 (4 insumos com 2 solos mais um tratamento testemunha, sem insumo) com 3 repetições. Os insumos utilizados foram: mistura da 1<sup>a</sup> haste e 2<sup>a</sup> haste na proporção natural de ocorrência (40 – 60%, respectivamente), calcário (mesmo do estudo I), CaCO<sub>3</sub> p.a., MgCO<sub>3</sub> p.a. e CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, conforme Tabela 7. Com base no pH SMP do solo e PRNT dos insumos, foram utilizadas quantidades correspondentes de cada insumo ou mistura para atingir pH 6,0, seguindo a recomendação da CQFS-RS/SC (2016). A quantidade de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O utilizada foi equivalente ao teor médio de S da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste (Tabela 1).

Os tratamentos foram denominados: 1 – Testemunha; 2 – Subproduto (1<sup>a</sup> + 2<sup>a</sup> haste); 3 – Calcário; 4 – Carbonatos (CaCO<sub>3</sub> p.a. + MgCO<sub>3</sub> p.a.); 5 – Carbonatos + Gesso (CaCO<sub>3</sub> p.a. + MgCO<sub>3</sub> p.a. + CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Os tratamentos 4 e 5 são produtos puros de laboratório. Esses foram aplicados em duas classes de solo (Planossolo Háplico eutrófico e Argissolo Amarelo eutrófico). A combinação entre os diversos níveis das fontes de tratamento está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Fatores de tratamento e doses totais aplicadas das fontes de macronutrientes secundários.

Fontes de Ca, Mg e S	Classe de solo									
	PHe					PAe				
	Doses das fontes (kg ha <sup>-1</sup> )	Quantidades totais (kg ha <sup>-1</sup> )				Doses das fontes (kg ha <sup>-1</sup> )	Quantidades totais (kg ha <sup>-1</sup> )			
		CaO	Ca <sup>+2</sup>	MgO	S		CaO	Ca <sup>+2</sup>	MgO	S
Testemunha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Subproduto	1464,4	201,8	0,0	180,4	24,0	4892,9	674,2	0,0	602,8	80,0
Calcário dolomítico	878,2	226,6	0,0	161,2	0,0	2934,7	757,1	0,0	538,8	0,0
CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	775,6	325,8	0,0	92,7	0,0	2592,3	1088,8	0,0	309,8	0,0
CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub> + Gesso	904,6	325,8	30,0	92,7	24,0	3022,4	1088,8	100,0	309,8	80,0

PHe - Planossolo Háplico eutrófico; PAe - Argissolo Vermelho Amarelo distrófico; 1 Matéria orgânica; 2 Capacidade de troca de cátions efetiva; 3 Capacidade de troca de cátions potencial; 4 Saturação por bases

### 5.3.4. Procedimento experimental e análise estatística

A cultura escolhida na condução do experimento foi a cebola (*Allium cepa*) – cultivar Fepagro 27. A espécie faz parte da família das Liliaceae, que são exigentes nos teores de S do solo. Inicialmente foi realizada a semeadura da cebola em bandejas flutuantes na água (sistema *floating*) com substrato, e, após o desenvolvimento das mudas (54 dias após a semeadura), foram transplantadas 7 plantas por vaso contendo 10 dm<sup>3</sup> de solo. Imediatamente antes do transplante das mudas foram aplicados os insumos e fertilizantes NPK. A fonte nitrogenada foi a ureia na dose de 50 mg de N por kg de solo no transplante das mudas e o restante (50 mg) 32 dias mais tarde, totalizando assim 100 mg de N por kg de solo. Para a correção de P foi utilizado superfosfato triplo na dose de 100 mg de P por kg de solo no transplante das mudas. Já para a correção de K foi utilizado KCl na dose de 100 mg de K por kg de solo no transplante das mudas.

O controle de umidade do solo no período experimental visou manter valores próximos à capacidade de campo das classes de solo em questão. Foram realizadas duas coletas da fitomassa da cebola (bulbo + folhas). A primeira coleta foi realizada 49 dias após o transplante das mudas (DAT), sendo coletadas 4 plantas por vaso. Nesse momento foi determinado o pH em água e teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do solo, além do diâmetro transversal do bulbo, fitomassa da cebola e teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) da fitomassa da cebola seguindo metodologia apresentada em Tedesco et al. (1995). A segunda coleta foi realizada 77

DAT e foram coletadas as 3 plantas restantes do vaso. Após, foi determinado novamente o pH em água e macronutrientes do solo, além do diâmetro transversal do bulbo, produção de fitomassa da cebola e teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) da fitomassa da cebola seguindo metodologia apresentada em Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis apresentaram efeito significativo para os fatores estudados, procedeu-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Estudo I - Teste de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico

#### 6.1.1. pH, cálcio, magnésio e enxofre do solo

Tanto os efeitos isolados quanto a interação entre tipos e doses de insumos foram significativas pelo teste F nas quatro variáveis resposta avaliadas: pH (água - 1:1) e teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  trocáveis e  $\text{S-SO}_4^{2-}$  extraído por fosfato monocálcico (Tabela 7).

Tabela 8 – Valores do teste F de atributos do solo submetido a aplicação de diferentes insumos.

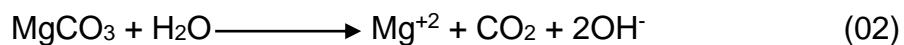
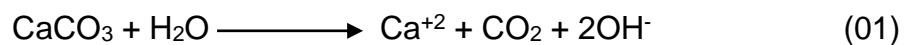
FV	GL	Atributos do solo			
		pH (água - 1:1)	Ca	Mg	$\text{S-SO}_4^{2-}$
----- (F) -----					
Insumo	2	79,78 **	25,99 **	84,88 **	92,68 **
Dose	4	232,92 **	211,90 **	355,87 **	238,45 **
Insumo.Dose	8	9,40 **	4,35 **	10,08 **	20,16 **

FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; F = Valor observado da estatística F; \*\* Significativo a 1%.

O pH do solo (água - 1:1) aumentou com as doses dos insumos (Figura 1), sendo o calcário diferente estatisticamente dos subprodutos em todas as doses aplicadas, com exceção da dose  $0,489 \text{ g kg}^{-1}$ , que diferiu apenas da 1<sup>a</sup> haste (Apêndice A). Devido à similaridade química entre a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, não houve diferença estatística entre os tratamentos que tiveram aplicação dessas fontes. Os maiores teores de CaO e MgO do calcário, contribuíram para um maior PN e consequente aumento do pH. Já o menor PN dos subprodutos fez com que as doses necessárias para elevar o pH do solo fossem maiores que as do calcário.

As recomendações de calagem no Rio Grande do Sul têm como critério atingir um determinado pH do solo. No sistema convencional, o objetivo da calagem é elevar o pH do solo até 6,0, faixa de melhor desempenho das culturas, para um período efetivo de no mínimo 5 anos, cuja dose é definida pelo índice SMP (CQFS-RS/SC, 2016). Para o solo atingir pH 6,0, valor recomendado para o milho, foram necessárias 1,522; 1,761 e 0,670 g kg<sup>-1</sup> da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> haste e calcário, respectivamente.

A aplicação tanto do calcário como dos subprodutos gera íons OH<sup>-</sup> que reagem com os H<sup>+</sup> presentes no solo, liberando água e gás carbônico, aumentando assim o pH (equação 01, 02 e 03).



A acidez do solo é um dos fatores que mais restringem a produtividade de diversas culturas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. Para incorporação dos solos ácidos ao processo produtivo é imprescindível o uso adequado de materiais com potencial de elevação do pH (FAGERIA, 1999). Segundo Quaggio, (1985), a correção da acidez do solo neutraliza os efeitos tóxicos do Al, altera a disponibilidade de macro e micronutrientes, adsorção e precipitação de P, reações de solubilização, decomposição da matéria orgânica, taxa de solubilização de fosfatos naturais, proporciona melhores condições ao desenvolvimento dos organismos do solo, entre outros.

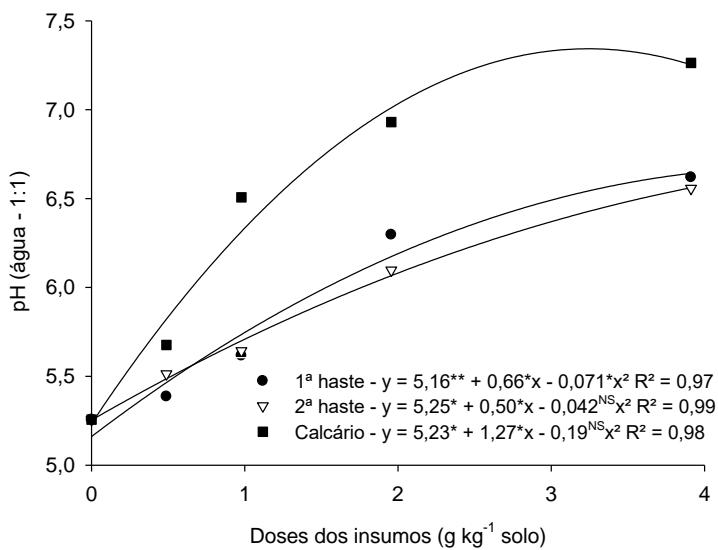


Figura 1 - Variação do pH em água aos 28 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

A aplicação do calcário e dos subprodutos elevou os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis no solo (Figura 2). Os teores de Ca no solo, quando da aplicação do calcário nas doses de 1,956 e 3,912  $\text{g kg}^{-1}$ , diferiram estatisticamente dos subprodutos (Apêndice B). Já para o Mg, a diferença ocorreu nas doses 0,978; 1,956 e 3,912  $\text{g kg}^{-1}$ . Os maiores teores equivalentes de CaO em comparação ao MgO, dos insumos utilizados, não resultaram em maior acréscimo nos teores de Ca no solo com a aplicação dos insumos. Os maiores teores de CaO e MgO do calcário, comparado aos subprodutos, resultaram em maior incremento nos teores de Ca e Mg no solo. A similaridade nos teores de CaO e MgO da 1ª e 2ª haste fez com que o comportamento dos teores de Ca e Mg com o aumento das doses fosse semelhante entre esses subprodutos.

Segundo a CQFS-RS/SC (2016), teores de Ca e Mg acima de 2,0 e 0,5  $\text{cmolc kg}^{-1}$ , respectivamente, são considerados suficientes para diversas culturas. Para os teores de Ca, a aplicação de 0,782 g de calcário por kg de solo atingiu valores considerados suficientes. Já com a aplicação dos subprodutos, em virtude dos menores teores de Ca, os valores considerados suficientes foram encontrados com a aplicação de 1,568 e 1,393 g da 1ª e 2ª haste, respectivamente, por kg de solo. Já para o Mg, os valores foram considerados suficientes em todas as doses.

Tanto o Ca como o Mg são macronutrientes secundários. Seu fornecimento normalmente é realizado por meio da aplicação de calcário, que pode ser calcítico, magnesiano ou dolomítico quando apresenta menos de 5% de MgO, de 5-12% de MgO e acima de 12% de MgO, respectivamente (BROCH & RANNO, 2012).

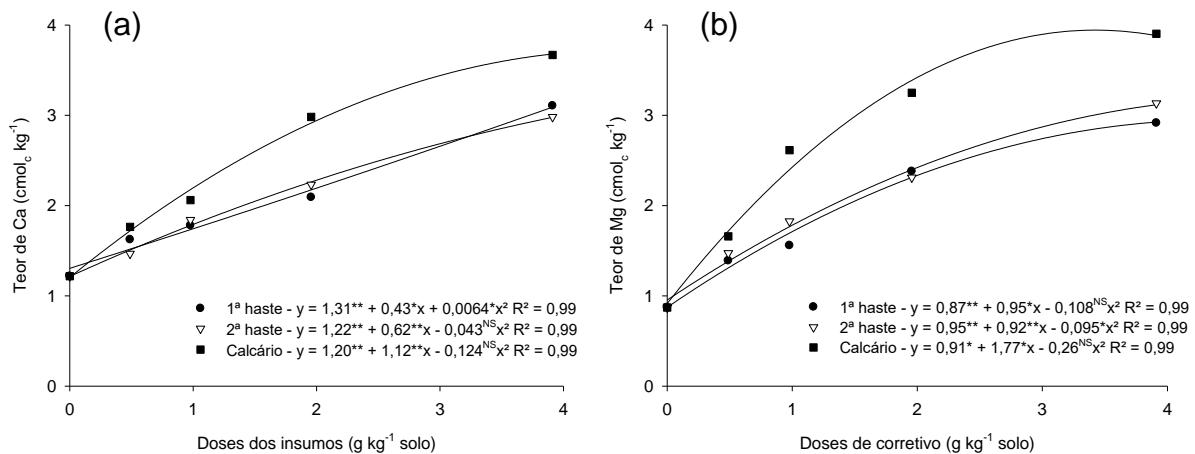


Figura 2 - Teores de Ca (a) e Mg (b) no solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

A aplicação do calcário e dos subprodutos elevou os teores de enxofre na forma de sulfato ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ) no solo (Figura 3). A 2<sup>a</sup> haste foi diferente estatisticamente do calcário e 1<sup>a</sup> haste nas doses 0,978; 1,956 e 3,912 g  $\text{kg}^{-1}$  (Apêndice C). O maior teor de S total do material da 2<sup>a</sup> haste (1,70%), comparado ao calcário (0,33%), proporcionou maior efeito no aumento nos teores de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  no solo. Já a 1<sup>a</sup> haste, mesmo com teores de S total de 1,54%, semelhante à 2<sup>a</sup> haste, se comportou de maneira diferente com a elevação das doses. Uma das explicações para que isso tenha ocorrido pode ter sido o tipo de mineralogia do subproduto, que apesar dos teores semelhantes entre si, a liberação do  $\text{S-SO}_4^{2-}$  não ocorreu da mesma forma.

Assmann (1995), estudando a liberação de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  de um calcário oriundo da Formação Irati, observou que doses crescentes desse corretivo proporcionaram aumento nos teores de sulfato no solo. Além da liberação de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  por parte dos subprodutos, a elevação do pH por si só pode promover aumento na disponibilidade desse elemento no solo. Isso se dá pelo aumento da mineralização do S-orgânico e redução da adsorção de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  (CASAGRANDE et al., 2003). Avaliando a influência da calagem e de doses de P sobre a mineralização de compostos orgânicos com S,

Silva et al. (1999) observaram maiores teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  após a calagem e maior conversão de S-orgânico a  $\text{SO}_4^{2-}$  pelo aumento da disponibilidade de P.

Em relação aos níveis de suficiência de S- $\text{SO}_4^{2-}$  para as plantas: de 10 mg kg<sup>-1</sup> para as espécies das famílias das brassicáceas, fabáceas e liliáceas, e de 5 mg kg<sup>-1</sup> para as demais espécies (CQFS-RS/SC, 2016). Observa-se que em todas as doses dos insumos, os teores de S estiveram em níveis considerados suficientes para todas as famílias.

O S é um dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Grandes áreas do planeta apresentam solos com deficiência de S, especialmente os com baixo teor de matéria orgânica e altamente intemperizados. O S ocorre no solo na forma orgânica e inorgânica, sendo que a participação dessas duas formas varia de acordo com as condições do solo, tais como: composição mineralógica, pH, drenagem, teor de matéria orgânica e profundidade do perfil (ALVAREZ et al., 2007). O enxofre inorgânico é a forma disponível para as plantas e ocorre na forma de ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Em consequência de sua carga negativa, o sulfato não é atraído para as superfícies da argila do solo e da matéria orgânica, exceto sob determinadas condições de acidez (BISSANI et al., 1988).

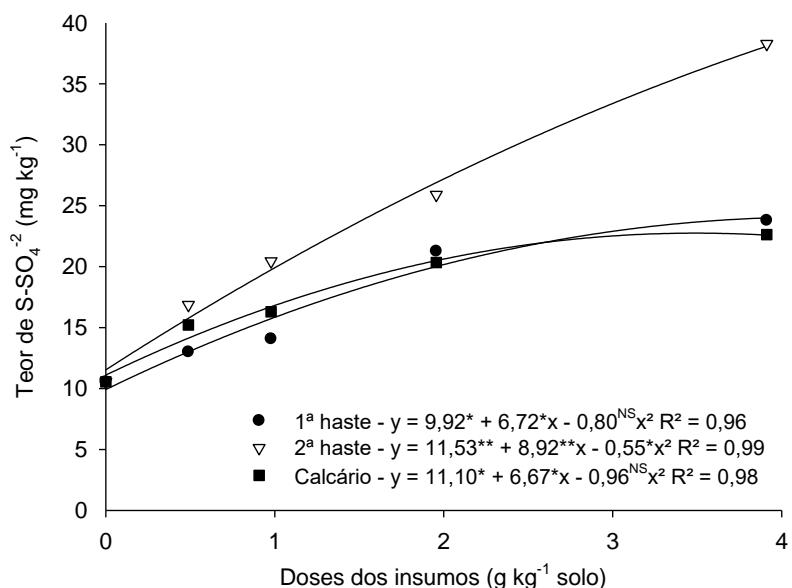


Figura 3 - Teores de S- $\text{SO}_4^{2-}$  do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.

NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

### 6.1.2. Nitrogênio mineral, fósforo, potássio e alumínio do solo

Houve aumento nos teores de N mineral do solo com a aplicação dos insumos. Observa-se (Tabela 8) que houve efeito dos fatores dose e tipo de insumo, sendo que a dose 0,489 g kg<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores, especialmente quando da aplicação da 2<sup>a</sup> haste, que diferiu estatisticamente dos outros insumos nesta dose. Já em outras doses, os insumos não diferiram estatisticamente entre si.

O aumento nos teores de N mineral é devido à melhoria nas condições de mineralização do N orgânico que ocorrem com a correção da acidez do solo. Silva et al. (1994), estudando o efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais observaram que o processo de mineralização do N é bastante influenciado por fatores bióticos e abióticos, entre esses, há destaque para o pH do solo.

Tabela 9 - Teores de N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), P, K e Al do solo aos 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> de solo)				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
N mineral (mg kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	48,03 Ab	63,73 Ba	55,37 Aab	56,61 Aab	59,37 Aab
1 <sup>a</sup> haste	48,03 Ab	64,87 Ba	55,64 Aab	58,63 Aab	61,14 Aa
2 <sup>a</sup> haste	48,03 Ac	74,07 Aa	61,00 Ab	63,02 Ab	64,29 Aab
P (mg kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	6,00 Ac	6,71 Abc	6,96 Aabc	7,34 Aab	7,79 Aa
1 <sup>a</sup> haste	6,00 Ab	6,79 Aab	6,96 Aab	7,12 Aa	7,29 Aa
2 <sup>a</sup> haste	6,00 Ab	6,96 Aab	6,96 Aab	7,04 Aab	7,17 Aa
K (mg kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	38,79 Ab	39,77 Ab	40,10 Bb	41,40 Bb	45,64 Aa
1 <sup>a</sup> haste	38,79 Ac	41,40 Abc	44,34 Aab	45,31 Aab	47,92 Aa
2 <sup>a</sup> haste	38,79 Ac	42,38 Abc	43,36 Aabc	46,29 Aab	47,27 Aa
Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	0,14 Aa	0,08 Ab	0,05 Ac	0,05 Ac	0,05 Ac
1 <sup>a</sup> haste	0,14 Aa	0,10 Ab	0,07 Ac	0,05 Ac	0,05 Ac
2 <sup>a</sup> haste	0,14 Aa	0,10 Ab	0,07 Ac	0,05 Ac	0,05 Ac

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O nitrogênio tem importante papel no metabolismo e na nutrição das plantas. Sua deficiência causa o desbalanceamento nutricional, diminuindo significativamente

a produtividade das plantas, afetando a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do caule e a área foliar, e seu excesso pode causar fitotoxidez (BISCARO et al., 2008).

Para os teores de P no solo, observa-se aumento com a aplicação dos insumos, no entanto, não houve diferença estatística entre esses (Tabela 8). Tanto o calcário, como os subprodutos não possuem grandes teores de P na sua composição, fazendo com que o aumento dos teores de P esteja relacionado ao aumento do pH do solo causado pela aplicação desses. Contudo, segundo a CQFS-RS/SC (2016), os teores de P, em todas as doses, são enquadrados como “baixo”.

O Al e, ou, Fe em solução podem causar precipitação de fosfatos adicionados ao solo. A aplicação dos insumos, ao elevar o pH do solo pela produção de hidroxilas, pode ter promovido a solubilização de Al-P e Fe-P e diminuído a adsorção aos óxidos de Fe e Al (RAIJ, 2011). Esses resultados confirmam o que Smith & Sanchez (1980) encontraram em estudo avaliando influência do pH na sorção de P.

Os solos brasileiros são carentes em fósforo (P), em consequência do seu material de origem e da forte interação do P com o solo (RAIJ, 2011), assim, o fósforo pode ser considerado o nutriente mais limitante da produção de biomassa dos solos tropicais (NOVAIS et al., 2007). Diante disso a correção da acidez do solo é uma prática essencial para diminuir a fixação do P e consequentemente aumentar a sua disponibilidade para as culturas.

Para os teores de K no solo, houve efeito dos fatores dose e tipo de insumo. Para o fator dose, nota-se aumento nos teores desse elemento com a aplicação dos insumos, sendo que os maiores valores foram encontrados na dose 3,912 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 8). Para o fator tipo de insumo, nota-se que a aplicação da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste nas doses 0,978 e 1,956 g kg<sup>-1</sup> proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do calcário. Os subprodutos apresentavam em média 0,71 % de K<sub>2</sub>O em sua composição, quase 4 vezes mais que o calcário, que possuía 0,19 %. Isso permitiu que houvesse um aporte de K por meio da adição desses. Segundo a CQFS-RS/SC (2016), os teores de K foram considerados baixos no tratamento testemunha (dose 0) e nas doses 0,489 e 0,978 g de calcário por kg de solo e médios nas outras doses de calcário e em todas dos subprodutos.

As plantas absorvem o potássio (K<sup>+</sup>) da solução do solo, cuja concentração é mantida pelo equilíbrio com o K trocável. Contudo, quando a concentração de K na solução atinge valores muito baixos, pode haver difusão de parte do K contido na

estrutura dos argilominerais e dissolução dos minerais primários que contém K, liberando esse para as plantas (DREVER, 1994).

Para os teores de Al trocáveis do solo, nota-se efeito isolado do fator dose (Tabela 8), sendo que o aumento da dose dos insumos proporcionou diminuição nos teores desse elemento. Nota-se ainda que houve uma estabilização dos teores de Al trocáveis do solo a partir das doses 0,978 e 1,956 g kg<sup>-1</sup> para o calcário e subprodutos, respectivamente.

O Al é encontrado em solos ácidos na forma de diversas espécies solúveis, como: Al<sup>3+</sup>, AlOH<sup>2+</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, AIL (L = orgânico) e AlF<sub>n</sub>. O Al<sup>3+</sup> é a espécie mais tóxica às plantas. A aplicação tanto do calcário como dos subprodutos promoveu redução da toxidez de Al pelas reações de hidrólise e formação de precipitado Al(OH)<sub>3</sub> (KINRAIDE, 1991).

A toxicidade ao alumínio é considerada um dos mais importantes problemas de toxicidade de metais em solos ácidos (ANIOL, 1990). Vários estudos demonstram que a inibição do crescimento da raiz é o sintoma mais visível da toxicidade do Al em plantas, resultando na redução e em danos ao sistema radicular, podendo colaborar à deficiência mineral e estresse hídrico (DEGENHARDT et al., 1998; FOY, 1974).

## **6.2. Estudo II - Avaliação agronômica do uso de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico**

### **6.2.1. Cálcio, magnésio e enxofre da parte aérea do milho**

Observa-se na tabela 9 o teste F para as variáveis teor de Ca, Mg, S, seus acúmulos e MSPA. Para as variáveis teor de Ca e Mg, houve efeito dos fatores tipo de insumo e dose. Já para as variáveis teor de S e acúmulo de Ca, Mg, S e MSPA houve efeito isolado do fator dose.

Tabela 10 – Valores do teste F para as variáveis teores e acúmulo de Ca, Mg, S e MSPA do milho em função das doses dos insumos aplicadas.

FV	GL	Macronutrientes e MSPA						
		Teor Ca	Teor Mg	Teor S	Acúmulo Ca	Acúmulo Mg	Acúmulo S	MSPA
----- (F) -----								
Insumo	2	6,06 **	34,05 **	3,69 NS	0,17 NS	4,15 NS	2,09 NS	0,72 NS
Dose	4	324,37 **	331,85 **	35,33 **	146,73 **	100,88 **	59,18 **	69,91 **
Insumo.Dose	8	1,85 NS	2,19 NS	0,49 NS	0,46 NS	0,55 NS	0,57 NS	0,59 NS

FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; F = Valor observado da estatística F; NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

Houve aumento nos teores de Ca da parte aérea do milho com a aplicação dos insumos, sendo as maiores doses responsáveis pelos valores mais elevados (Figura 4a). Quanto ao tipo de insumo utilizado, a diferença estatística se deu apenas na aplicação da 2<sup>a</sup> haste na dose 1,956 g kg<sup>-1</sup> (Apêndice F), onde a utilização desse insumo proporcionou os menores valores, diferindo dos demais.

Tanto o calcário como os subprodutos apresentam CaO, que em contato com o solo liberam Ca<sup>2+</sup> trocável para as plantas. Segundo a CQFS-RS/SC (2004), a faixa de suficiência de Ca no tecido de milho é de 2 - 8 g kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, em todas as doses, a aplicação dos insumos proporcionou teores de Ca considerados suficientes para a cultura.

Já para a variável Ca acumulado na MSPA observa-se (Figura 8b) que o máximo acúmulo ocorreu em doses próximas a 2,5 g kg<sup>-1</sup>. Isso ocorreu, principalmente, devido à maior produção de massa seca da parte aérea nessas doses.

O Ca é um macronutriente secundário para as plantas. Tem papel no desenvolvimento das raízes e das folhas, forma compostos que fazem parte da parede celular, reforçando a estrutura das plantas. Pode ser fornecido ao solo com a aplicação do calcário e materiais que contenham Ca em sua composição, como o pesquisado no presente trabalho.

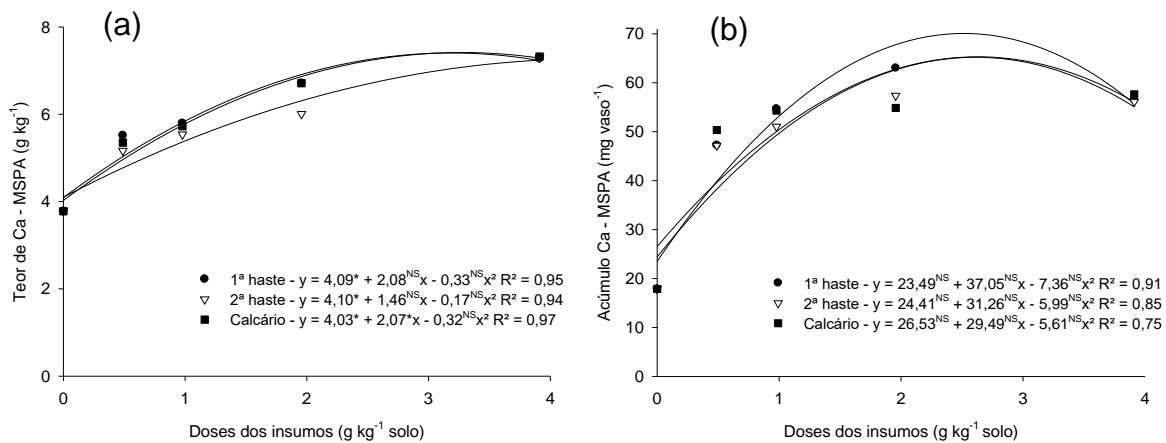


Figura 4 - Teores de Ca na parte aérea do milho (a) e seu acúmulo (b) em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo; \* significativo a 5%.

A aplicação dos insumos proporcionou aumento nos teores de Mg da parte aérea do milho, sendo as maiores doses responsáveis pelos valores mais elevados (Figura 5a). Quanto ao tipo de insumo utilizado, o calcário foi responsável pelos maiores teores. Esse possui 18,35 % de MgO, contra 11,92 e 12,58 % da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente. Isso proporcionou maiores quantidades de Mg disponíveis no solo para a absorção das plantas.

Segundo a CQFS-RS/SC (2004), a faixa de suficiência de Mg no tecido de milho é de 2 - 5 g kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, em todas as doses, a aplicação dos insumos proporcionou teores de Mg considerados suficientes para a cultura.

Na Figura 5b tem-se o acúmulo de Mg na parte aérea do milho. Quanto à dose aplicada, nota-se que, para todos os insumos, o máximo acúmulo ocorreu em doses próximas a 2,5 g kg<sup>-1</sup>. Isso ocorreu, principalmente, devido a maior produção de MSPA próxima a essa dose. Já para o fator tipo de insumo, nota-se que o acúmulo foi maior quando da aplicação do calcário, contudo, não houve diferença entre os insumos avaliados.

Assim como o Ca, o Mg é um macronutriente secundário para as plantas. Tem papel na constituição da clorofila e consequentemente está envolvido ativamente na fotossíntese. Pode ser fornecido ao solo com a aplicação de calcário dolomítico e materiais que contêm Mg em sua composição, como o pesquisado no presente trabalho.

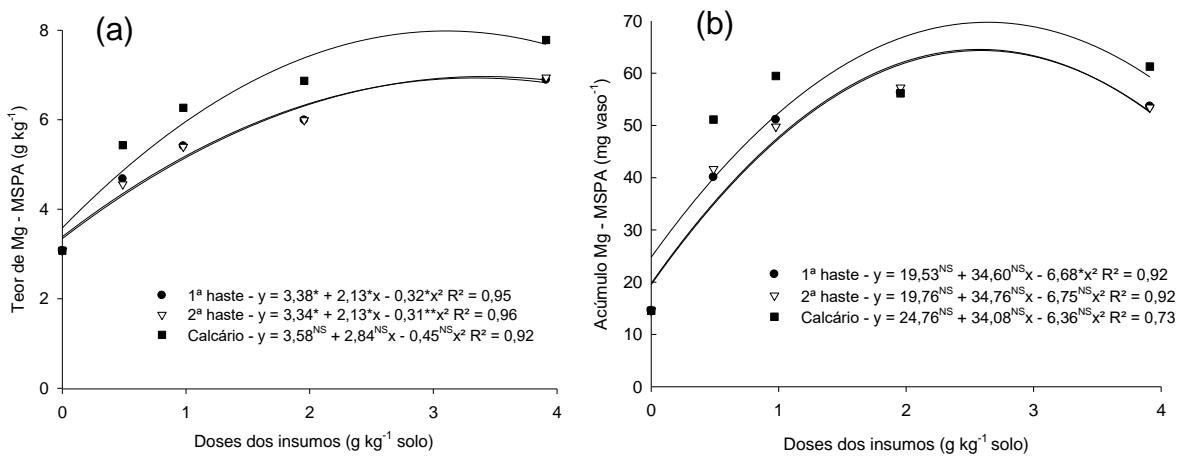


Figura 5 - Teores de Mg na parte aérea do milho (a) e seu acúmulo (b) em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

Observa-se na Figura 6a aumento nos teores de S absorvidos pela parte aérea do milho com a aplicação dos insumos, havendo efeito isolado da dose desses materiais (Tabela 9). A aplicação dos insumos aumentou os teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo (Figura 3) e, por consequência, os teores de S na parte aérea do milho. Contudo, diferentemente do que ocorreu no solo, não houve diferença entre os insumos nos teores de S na parte aérea do milho.

Kliemann & Malavolta (1994), estudando o nível crítico de S na parte aérea do milho em solos arenosos e argilosos, encontraram valores de 1,4 e 2,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Observa-se que em todas as doses aplicadas, o teor de S da parte aérea do milho esteve acima do limite crítico, confirmando os resultados obtidos no solo, onde verificou-se que os teores de S em todos corretivos e doses estavam em níveis considerados suficientes para a cultura.

A aplicação do calcário e dos subprodutos possibilitou maiores quantidades de S acumulado (Figura 6b), sendo diferente estatisticamente do tratamento testemunha (dose 0 g kg<sup>-1</sup>). A maior produção de MSPA com a aplicação dos insumos influenciou diretamente no acúmulo de S por vaso.

A maior parte do S nas células de plantas superiores deriva do sulfato. Esse é absorvido pelas raízes em baixas quantidades e o seu transporte ocorre principalmente pelo xilema. O S é um elemento essencial às plantas e possui diversas funções dentre as quais, destaca-se: ajuda a desenvolver enzimas e vitaminas; promove a nodulação para a fixação de nitrogênio pelas leguminosas; é necessário na formação da clorofila; é essencial para a formação de proteínas; está presente em vários compostos

orgânicos que dão os odores característicos do tecido (SFREDO & LANTMANN, 2007).

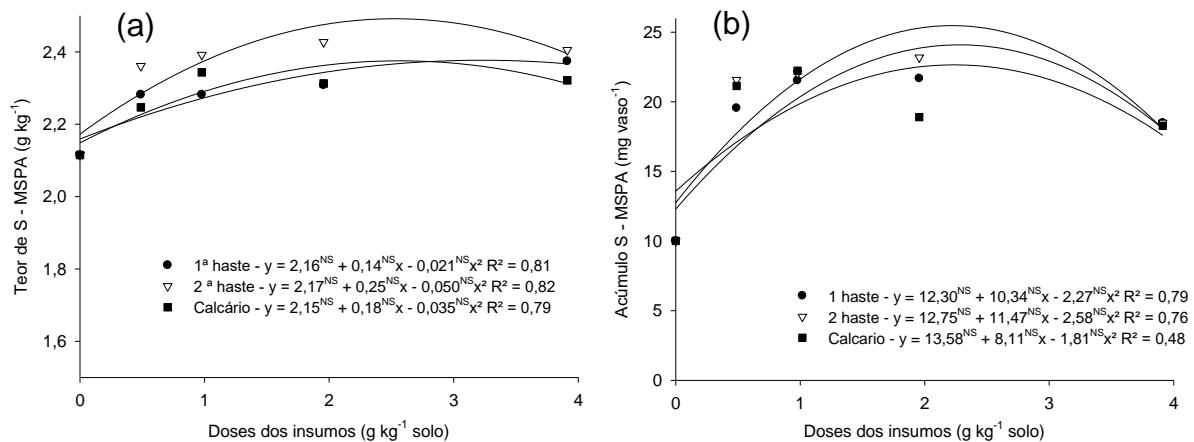


Figura 6 - Teores de S na parte aérea do milho (a) e seu acúmulo (b) em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo.

### 6.2.2. Nitrogênio, fósforo e potássio da parte aérea do milho

Não houve efeito da dose e tipo de insumo nos teores de N total da parte aérea do milho (Tabela 10). Já para a variável N acumulado na MSPA, nota-se efeito isolado da dose dos insumos, onde doses que proporcionaram maior produção de MSPA (Figura 7), também possibilitaram maior acúmulo de N total.

O N é absorvido predominantemente pelas raízes e nas formas de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ . Normalmente o  $\text{NO}_3^-$  é a fonte preferencial, mas a dependência da espécie da planta e alguns fatores ambientais devem ser considerados. Entre estes fatores destacam-se o pH, a temperatura e o teor de carboidratos nas raízes. Geralmente, em pH próximo a neutro o  $\text{NH}_4^+$  é o mais absorvido e cai à medida que o pH diminui (MARSCHNER, 1986).

Segundo Lemaire & Gastal (1997), o N é o elemento exigido em maior quantidade pelo milho, e é o que mais comumente limita a produtividade. Já Uhart & Andrade (1995) observaram que o N determina o desenvolvimento das plantas de milho, com acréscimo expressivo na área foliar e na produção de MSPA, resultando em maior produção de grãos. Segundo Martinez et al. (1999), a faixa de suficiência do N para o tecido do milho é de 27,5 - 32,5 g kg⁻¹. Diante disso, nota-se que os teores estiveram em níveis considerados suficientes em todos os insumos e doses.

Tabela 11 - Teores de N, P, K e seus acúmulos na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	32,74 Aa	34,62 Aa	34,62 Aa	34,86 Aa	32,86 Aa
1 <sup>a</sup> haste	32,74 Aa	34,27 Aa	34,50 Aa	35,80 Aa	33,86 Aa
2 <sup>a</sup> haste	32,74 Aa	34,92 Aa	35,92 Aa	35,21 Aa	33,91 Aa
Acúmulo de N (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	154,87 Ab	320,98 Aab	332,65 Aa	303,05 Aab	263,41 Ab
1 <sup>a</sup> haste	154,87 Ab	289,18 Aa	324,92 Aa	334,08 Aa	285,06 Aa
2 <sup>a</sup> haste	154,87 Ab	315,70 Aa	349,55 Aa	340,37 Aa	286,58 Aa
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	2,14 Ac	2,30 Abc	2,43 Aab	2,57 Aa	2,60 Aa
1 <sup>a</sup> haste	2,14 Aa	2,27 Aa	2,30 Aa	2,24 Ba	2,28 Ba
2 <sup>a</sup> haste	2,14 Ab	2,30 Aab	2,31 Aab	2,33 Bab	2,43 ABa
Acúmulo de P (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	10,10 Ab	21,19 Aa	23,41 Aa	22,29 Aa	20,74 Aa
1 <sup>a</sup> haste	10,10 Ab	19,05 Aa	21,68 Aa	20,95 Aa	19,15 Aa
2 <sup>a</sup> haste	10,10 Ab	20,91 Aa	22,58 Aa	22,47 Aa	20,54 Aa
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	44,68 Aa	36,40 Ab	36,76 Ab	35,67 Ab	35,68 Ab
1 <sup>a</sup> haste	44,68 Aa	36,58 Ab	37,13 Ab	38,40 Ab	37,22 Ab
2 <sup>a</sup> haste	44,68 Aa	34,76 Ab	36,40 Ab	36,49 Ab	36,67 Ab
Acúmulo de K (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	211,80 Ac	324,98 Aab	359,09 Aa	336,16 Aab	284,98 Ab
1 <sup>a</sup> haste	211,80 Ab	309,25 Aa	350,82 Aa	359,08 Aa	312,00 Aa
2 <sup>a</sup> haste	211,80 Ab	314,20 Aa	354,89 Aa	352,29 Aa	310,32 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os teores de P da parte aérea do milho, observa-se (Tabela 10) que a aplicação dos insumos proporcionou aumento nos teores desse elemento. Houve efeito da dose e tipo de insumo utilizado. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu nas doses 1,956 e 3,912 g kg<sup>-1</sup>, sendo o calcário responsável pelos maiores valores. O aumento do pH do solo e consequente diminuição da fixação do P aumentaram a disponibilidade do elemento e, consequentemente, o teor na parte aérea do milho.

Corrêa et al. (2008), estudando níveis críticos de fósforo na parte aérea do milho cultivado em um Argissolo submetido a aplicação de Superfosfato triplo, encontraram teores médios de  $2,33 \text{ g kg}^{-1}$ . Nota-se que as doses 0,978; 1,956 e  $3,912 \text{ g kg}^{-1}$  de calcário e 1,956 e  $3,912 \text{ g kg}^{-1}$  da 2<sup>a</sup> haste possibilitaram atingir o valor considerado crítico. Já com a aplicação da 1<sup>a</sup> haste, em todas as doses os teores de P na parte aérea do milho estiveram abaixo do nível crítico, evidenciando a carência de P do solo cultivado.

Para a variável P acumulado na MSPA houve efeito isolado da dose dos insumos, onde a aplicação desses foi diferente estatisticamente do tratamento testemunha (dose 0  $\text{g kg}^{-1}$ ). A aplicação dos insumos proporcionou maior MSPA e influenciou diretamente no acúmulo de P por vaso.

O fósforo é um elemento fundamental no metabolismo das plantas, desempenhando atividade importante na respiração, fotossíntese e transferência de energia da célula. Também é componente estrutural dos ácidos nucléicos dos genes, coenzimas, fosfolipídeos e fosfoproteínas. Deficiência na disponibilidade de P pode resultar em restrições no desenvolvimento das plantas (HOPPO et al., 1999).

Para os teores de K da parte aérea do milho, observa-se que a aplicação dos insumos proporcionou diminuição nos teores desse elemento nas plantas (Tabela 10). Houve efeito isolado da dose dos insumos, sendo a testemunha (dose 0  $\text{g kg}^{-1}$ ) diferente estatisticamente dos tratamentos que receberam aplicação dos insumos.

A calagem promove o aumento das concentrações de Ca e Mg do solo, relativamente à do K, podendo reduzir a absorção de K pelas raízes (GOEDERT et al., 1975), como observado no presente trabalho. Segundo Martinez et al. (1999), a faixa de suficiência do K para o tecido do milho é de  $17,5 - 22,5 \text{ g kg}^{-1}$ . Diante disso, nota-se que os teores estiveram acima do considerado suficiente em todos insumos e doses.

Para a variável K acumulado na MSPA, também houve efeito isolado da dose dos insumos, contudo, a aplicação desses proporcionou os maiores valores. Isso se deu pela maior produção de MSPA que influenciou diretamente no acúmulo de K por vaso.

O potássio é o cátion mais abundante na planta e é caracterizado pela sua alta seletividade no momento da absorção, sendo intensamente ligado à atividade metabólica na planta. Apresenta uma alta mobilidade na planta, tanto no floema como no xilema. O potássio não é constituinte de nenhuma molécula orgânica no vegetal,

todavia contribui em várias atividades bioquímicas, sendo um ativador de grande número de enzimas, responsável pela abertura e fechamento dos estômatos, regulador da pressão osmótica e importante nos mecanismos de resistência às doenças e frio (MEURER, 2006).

#### **6.2.3. Cobre, zinco, ferro e manganês da parte aérea do milho**

Os subprodutos apresentaram, de forma geral, de 3 a 4 vezes mais micronutrientes do que o calcário (Tabela 1).

Para a variável teor de Cu da parte aérea do milho, houve efeito dos fatores dose e tipo de insumo (Tabela 11). Para o fator dose, a diferença se deu apenas com a aplicação do calcário, onde o tratamento testemunha (dose 0 g kg<sup>-1</sup>) obteve os maiores valores, diferindo estatisticamente da dose 3,912 g kg<sup>-1</sup>. Já para o fator tipo de insumo, a aplicação dos subprodutos proporcionou os valores mais elevados, diferindo do calcário nas doses 0,978; 1,956 e 3,912 g kg<sup>-1</sup>. Para a variável acúmulo de Cu na parte aérea, também houve efeito dos fatores dose e tipo de insumo. De forma geral, assim como para teor de Cu, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos com aplicação dos subprodutos.

Tabela 12 - Teores de Cu, Zn, Fe e Mn e seus acúmulos na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	11,37 Aa	11,05 Aab	10,72 Bab	10,40 Bab	9,42 Bb
1 <sup>a</sup> haste	11,37 Aa	12,02 Aa	12,35 Aa	12,35 Aa	12,02 Aa
2 <sup>a</sup> haste	11,37 Aa	12,02 Aa	12,35 Aa	12,19 Aa	12,02 Aa
Acúmulo de Cu (μg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	53,76 Ac	101,82 Aa	102,70 Ba	89,56 Bab	75,35 Bb
1 <sup>a</sup> haste	53,76 Ab	100,97 Aa	116,34 ABa	114,80 Aa	100,99 Aa
2 <sup>a</sup> haste	53,76 Ab	108,67 Aa	120,82 Aa	115,99 Aa	101,67 Aa
Teor de Zn (mg kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	56,01 Aa	51,80 Aab	45,57 Ab	33,65 Ac	30,61 Ac
1 <sup>a</sup> haste	56,01 Aa	55,62 Aa	52,19 Aa	39,65 Ab	30,07 Ac
2 <sup>a</sup> haste	56,01 Aa	57,56 Aa	47,28 Ab	40,12 Ab	30,15 Ac
Acúmulo de Zn (μg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	263,54 Ab	479,91 Aa	439,09 Aa	292,23 Ab	246,78 Ab
1 <sup>a</sup> haste	263,54 Ac	470,14 Aab	493,49 Aa	369,76 Abc	252,35 Ac
2 <sup>a</sup> haste	263,54 Ac	520,25 Aa	464,01 Aab	388,72 Ab	255,87 Ac
Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	158,17 Aa	154,92 Aab	148,42 Aab	127,67 Bbc	109,79 Bc
1 <sup>a</sup> haste	158,17 Aa	163,05 Aa	171,19 Aa	162,24 Aa	155,33 Aa
2 <sup>a</sup> haste	158,17 Aab	171,19 Aa	167,53 Aab	153,70 Aab	141,10 Ab
Acúmulo de Fe (μg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	747,12 Ac	1422,76 Aa	1427,13 Aa	1111,04 Bab	879,35 Bbc
1 <sup>a</sup> haste	747,12 Ab	1378,52 Aa	1617,80 Aa	1505,37 Aa	1303,65 Aa
2 <sup>a</sup> haste	747,12 Ac	1547,18 Aa	1638,09 Aa	1482,02 Aab	1196,41 Ab
Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	257,88 Aa	102,98 Bb	80,88 Cc	59,86 Bd	55,99 Bd
1 <sup>a</sup> haste	257,87 Aa	142,67 Ab	122,93 Ac	87,10 Ad	83,46 Ad
2 <sup>a</sup> haste	257,87 Aa	127,65 Ab	103,41 Bc	90,32 Acd	71,23 ABd
Acúmulo de Mn (μg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	1223,02 Aa	945,78 Bb	775,78 Bb	520,50 Bc	446,89 Bc
1 <sup>a</sup> haste	1223,02 Aa	1199,93 Aa	1161,55 Aa	811,02 Ab	699,15 Ab
2 <sup>a</sup> haste	1223,02 Aa	1153,98 ABa	1010,70 Aab	870,05 Ab	601,32 ABC

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teores de Zn na parte aérea do milho (Tabela 11), houve efeito isolado do fator dose, em que as menores diferiram estatisticamente das maiores. Para a variável acúmulo de Zn na parte aérea, também houve efeito isolado da dose, em que os maiores valores foram encontrados nas doses 0,489 e 0,978 g kg<sup>-1</sup>. Isso se deu, principalmente, devido aos maiores teores de Zn e produção de MSPA nessas doses.

A menor capacidade de elevar o pH do solo dos subprodutos e os maiores teores de Cu e Zn desses insumos, proporcionaram maior absorção desses elementos na parte aérea do milho.

O aumento do pH promoveu condições para que o Cu e o Zn se adsorvam especificamente na fase sólida do solo, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas e acúmulo na parte aérea (ABREU et al., 2007).

Segundo Pais & Benton Jones (1997) o teor de Cu no milho é normalmente inferior a 10 mg kg<sup>-1</sup>, podendo variar de 3 a 40 mg kg<sup>-1</sup>. Já Lopes & Coelho (1988), estudando a faixa de suficiência de micronutrientes no tecido de milho, encontraram valores de 6 – 20 mg kg<sup>-1</sup> e 15 – 100 mg kg<sup>-1</sup> para Cu e Zn respectivamente. Observa-se na Tabela 12 que tanto os teores do Cu como do Zn, foram considerados suficientes para a cultura.

O Cu e o Zn são elementos essências para as plantas. O primeiro é constituinte de enzimas, tem papel no envolvimento no transporte de elétrons na fotossíntese e no crescimento reprodutivo. Já o Zn é um ativador enzimático, com papel na tolerância ao estresse, no crescimento reprodutivo e na constituição de paredes celulares e membranas (MARSCHNER, 1986).

Para os teores de Fe da parte aérea do milho, observa-se (Tabela 11) efeito dos fatores dose e tipo de insumo. Para o fator dose, nota-se que a aplicação do calcário proporcionou diminuição nos teores desse elemento, sendo o tratamento testemunha (dose 0 g kg<sup>-1</sup>) diferente estatisticamente das maiores doses (1,956 e 3,912 g kg<sup>-1</sup>). Já com a aplicação da 2<sup>a</sup> haste houve aumento nos teores de Fe nas menores doses seguido de decréscimo, sendo diferentes estaticamente apenas as doses 0,489 e 3,912 g kg<sup>-1</sup>. Não houve diferença estatística entre as doses da 1<sup>a</sup> haste. Quanto ao fator tipo de insumo, os subprodutos nas doses 1,956 e 3,912 g kg<sup>-1</sup> obtiveram maiores valores, diferindo estatisticamente do calcário.

Para a variável acúmulo de Fe na parte aérea, também houve efeito da dose e tipo de insumo, contudo, os maiores valores foram encontrados em doses que proporcionaram maior produção de MSPA, e quando da aplicação dos subprodutos.

Para os teores de Mn da parte aérea do milho, observa-se (Tabela 11) efeito dos fatores dose e tipo de insumo. Quanto à dose, o tratamento testemunha (0 g kg<sup>-1</sup>) obteve os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais em todos os insumos. Para o fator tipo de insumo, a aplicação dos subprodutos obteve os valores mais elevados, diferindo estatisticamente do calcário em todas as doses, com exceção da 2<sup>a</sup> haste na dose de 3,912 g kg<sup>-1</sup>.

Para a variável acúmulo de Mn na parte aérea, também houve efeito dos fatores dose e tipo de insumo, todavia, os maiores valores foram encontrados no tratamento testemunha (dose 0 g kg<sup>-1</sup>) e quando da aplicação dos subprodutos.

A elevação do pH do solo promoveu a precipitação do Fe e Mn no solo na forma de oxi-hidróxidos, diminuindo a disponibilidade para as plantas. Nascimento et al. (2005) estudando a influência da calagem no fracionamento e disponibilidade de Mn em solos de Pernambuco, observaram declínio no teor de Mn da parte aérea da cultura do milho com a aplicação de calcário, porém não observaram diminuição na produção de massa seca. Embora a solubilidade do Fe decresça mais intensamente que a do Mn com o aumento do pH (Lindsay, 1972), isso não refletiu em menor absorção do Fe, indicando que a solubilidade não é o único fator que afeta a absorção de nutrientes pelo milho.

Segundo Leite et al. (2003), o nível crítico de Mn em folhas de milho é de 27,20 mg kg<sup>-1</sup>. Já Lopes & Coelho (1988), estudando a faixa de suficiência de micronutrientes no tecido de milho, encontraram valores para o Fe de 30 – 250 mg kg<sup>-1</sup>. Nota-se que os valores tanto do Fe como do Mn, são considerados, respectivamente, suficientes e acima do nível crítico para a cultura.

Tanto o Fe, como o Mn, tem diversas funções no metabolismo das plantas, destacando-se como: constituinte de enzimas; envolvimento no transporte de elétrons na fotossíntese e na tolerância ao estresse (MARSCHNER, 1986).

#### **6.2.4. Produção de massa seca da parte aérea do milho**

Houve aumento na MSPA do milho com a aplicação dos insumos (Figura 7). A aplicação do calcário nas doses 0,489 e 0,978 g kg<sup>-1</sup> e dos subprodutos nas doses 0,978; 1,956 g kg<sup>-1</sup> proporcionaram as maiores produções de MSPA, contudo,

diferiram estatisticamente apenas do tratamento testemunha (dose 0 g kg<sup>-1</sup>) - (Apêndice N).

A correção da acidez do solo até pH próximo de 6,0 para a maioria das culturas traz vários benefícios, tais como: diminuição dos efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe; fornecimento de Ca e Mg como nutrientes; diminuição da “fixação” de P; aumento da disponibilidade do N, P, K, Ca, Mg, S e Mo no solo; aumento da eficiência dos fertilizantes; aumento da atividade microbiana e a liberação de nutrientes, tais como N, P, S e B, pela decomposição da matéria orgânica. Observa-se ainda que mesmo em doses acima do recomendado (1,956 e 3,912 g de calcário por kg de solo) a MSPA foi superior à dose 0 g kg<sup>-1</sup>. Silva et al. (2005) estudando uma super calagem no milho, chegaram à conclusão que a calagem em excesso, mesmo não sendo recomendada, é menos prejudicial às plantas do que não fazê-la. Forestieri & De-Polli (1990) observaram incremento médio de 4,8 g vaso<sup>-1</sup> na produção de massa seca de milho, em Argissolo Vermelho-Amarelo, após a calagem. Oliveira et al. (1997) mostraram efeito positivo da aplicação de calcário na produção de milho em um Latossolo Vermelho-Escuro, cuja produtividade máxima foi obtida com a aplicação 6,6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Além do efeito do pH, os subprodutos apresentam nutrientes na sua composição (Tabela 1) que podem ter colaborado para os maiores valores de MSPA.

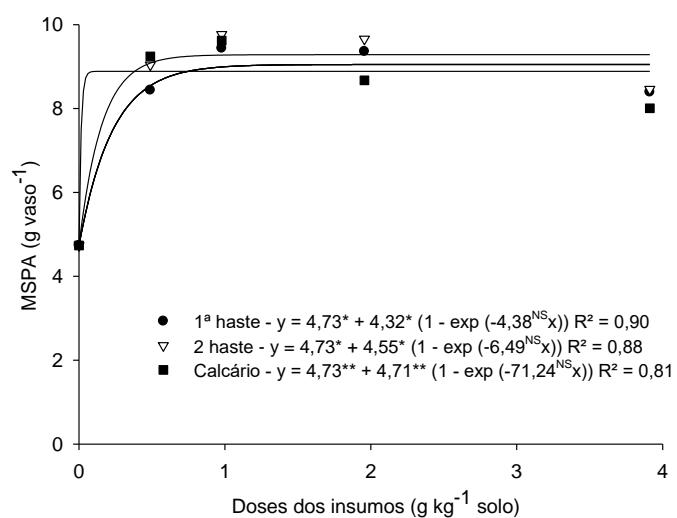


Figura 7 - Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das doses dos insumos aplicadas. NS = Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%.

### **6.3. Estudo III - Avaliação da disponibilização de enxofre de um subproduto para a cultura da cebola em duas classes de solo**

Neste trabalho foi avaliada a eficiência do subproduto em disponibilizar enxofre ao solo e a cultura da cebola. Para isso, foram utilizados diferentes insumos, duas classes de solo (Argissolo Amarelo eutrófico e Planossolo Háplico eutrófico). Foram determinados os teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  em dois momentos (49 e 77 dias após o transplante) e o pH do solo aos 11, 32, 39 e 77 dias após o transplante. Já os demais macronutrientes foram avaliados somente aos 77 dias após o transplante. Teores e acúmulo de macro e micronutrientes da fitomassa (bulbo + folhas) da cebola também foram avaliados, assim como a produção de fitomassa.

#### **6.3.1. pH, cálcio, magnésio e enxofre do solo**

Os tipos de insumo elevaram significativamente o pH (água – 1:1) das duas classes de solo avaliadas (Tabela 12). Para o fator tipo de insumo, na classe Planossolo a aplicação dos insumos proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha. Já no Argissolo, a aplicação do calcário, carbonatos e carbonatos + gesso apresentaram os maiores valores, diferindo estatisticamente do subproduto e da testemunha, essa última, apresentou os menores valores, diferindo também do subproduto. Para o fator classe de solo, a diferença se deu quando da aplicação dos insumos, em que o Argissolo apresentou os valores mais elevados.

Para todos os tratamentos (com exceção da testemunha) o objetivo foi elevar o pH do solo a 6,0, contudo, nota-se que apenas no Argissolo a recomendação da CQFS-RS/SC (2016) proporcionou atingir valores próximos da meta. Quanto ao subproduto, nota-se que, assim como no estudo I (Figura 1), esse insumo eleva o pH do solo.

Tabela 13 – Valores médios de pH do solo (água – 1:1) em função de diferentes insumos aplicados em duas classes de solo.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
pH (água – 1:1)					
Planossolo	5,15 Ab	5,50 Ba	5,45 Ba	5,47 Ba	5,47 Ba
Argissolo	5,12 Ac	5,73 Ab	5,99 Aa	6,07 Aa	6,15 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* Média das amostragens aos 11, 32, 39 e 77 dias após a aplicação dos insumos.

Para a variável teor de Ca no solo, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 8). Para o fator tipo de insumo, na classe Argissolo, a aplicação dos carbonatos e carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A aplicação do calcário e do subproduto apresentaram teores de Ca diferentes estatisticamente entre si, contudo, maiores do que o tratamento testemunha. Esse resultado demonstra o que foi inferido nas hipóteses do trabalho, que o subproduto possui capacidade de fornecimento de Ca ao solo. Já no Planossolo, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Para o fator classe de solo, a diferença se deu quando da aplicação dos insumos, onde o Argissolo apresentou os valores mais elevados.

Segundo a CQFS-RS/SC (2016), consideram-se satisfatórios teores de Ca maiores que  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Contudo, a mesma comissão, cita que teores de Ca maiores que  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  são considerados suficientes para diversas culturas. Diante disso, nota-se que a aplicação dos insumos proporcionou valores considerados suficientes, diferentemente do que ocorreu nos tratamentos testemunha nas duas classes de solo.

Os insumos avaliados possuem Ca na sua constituição. Os resultados demonstram similar eficiência no fornecimento desse nutriente, com destaque para os carbonatos e carbonatos + gesso no Argissolo. Neste último, a presença do gesso, que possui Ca na sua constituição ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), pode ter colaborado para os maiores valores desse elemento. Quanto ao subproduto, nota-se que, assim como no estudo I (Figura 2a), esse insumo pode ser recomendado como uma fonte de Ca ao solo.

O cálcio é um macronutriente secundário absorvido pelas plantas na forma de cátion divalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Além de seu papel estrutural como nutriente da planta (faz parte da parede celular), sua adição possui efeitos indiretos importantes que se relacionam ao pH do solo. Os calcários calcíticos são a principal fonte para as plantas. Outra forma de acréscimo de cálcio nos solos é aplicação de materiais, como: gesso agrícola, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfatos, nitrato de cálcio, subprodutos, entre outros.

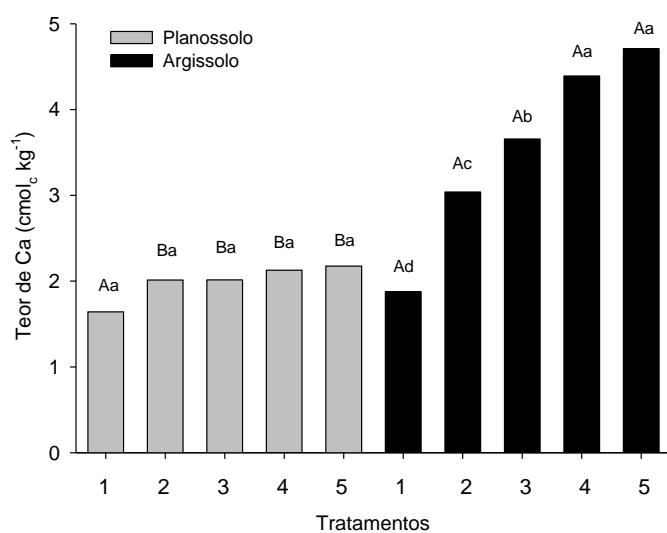


Figura 8 - Teores de Ca do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo. 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável Mg no solo, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 9). Para o fator tipo de insumo, nas classes Argissolo e Planossolo, a aplicação dos insumos proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha. Para o fator classe de solo, a diferença se deu quando da aplicação dos insumos, onde o Argissolo apresentou os valores mais elevados.

Segundo a CQFS-RS/SC (2016), consideram-se satisfatórios teores de Mg maiores que  $1,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . Diante disso, nota-se que a aplicação dos insumos proporcionou valores considerados satisfatórios, diferentemente do que ocorreu nos tratamentos testemunha nas duas classes de solo.

Os insumos aplicados possuem Mg na sua constituição. Os resultados demonstram que esses possuem similar eficiência no fornecimento desse nutriente. Quanto ao subproduto, nota-se que, assim como no estudo I (Figura 2b), que este insumo pode ser recomendado como uma fonte de Mg ao solo.

O magnésio é um macronutriente secundário, assim como cálcio e enxofre. É transportado no solo essencialmente por fluxo de massa (BARBER, 1974). Os calcários dolomíticos (como o avaliado no presente estudo) são a principal fonte para as plantas. Outras formas de acréscimo de magnésio nos solos são materiais, como: sulfato de magnésio, termofosfatos, hidróxido de magnésio, magnesita, silicato de magnésio, subprodutos, entre outros.

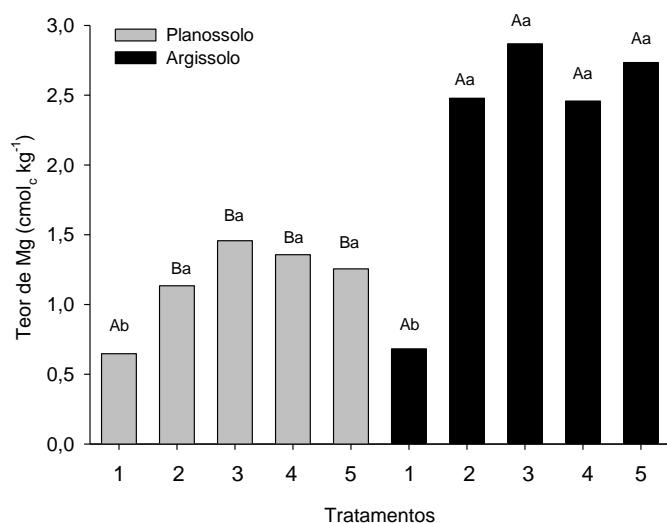


Figura 9 - Teores de Mg do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo. 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo aos 49 dias após o transplante (DAT), houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 10a). Para o fator tipo de insumo, na classe Argissolo, a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Já no Planossolo, a aplicação dos carbonatos + gesso e dos subprodutos proporcionaram os maiores valores, não diferindo estatisticamente entre si. Esses insumos possuem S em sua

composição e, para o Planossolo, que possui deficiência nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Tabela 6), mostraram ter capacidade semelhante no fornecimento desse nutriente, corroborando a hipótese do trabalho e os resultados obtidos no estudo I (Figura 3). Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores quando da aplicação dos subprodutos e carbonatos, sendo diferente estatisticamente do Argissolo, o qual, inicialmente possuía maiores teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Solos argilosos e com altos teores de óxidos de ferro apresentam grande capacidade de adsorção de sulfato, o que diminui a sua movimentação no perfil do solo e disponibilidade para as plantas.

Para a variável teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo aos 77 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 10b). Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O mesmo ocorreu no Planossolo. A aplicação dos subprodutos, ao contrário do que ocorreu na primeira avaliação, aos 49 DAT, não se mostrou tão eficiente quanto a aplicação dos carbonatos + gesso, entretanto, apresentou valores maiores do que os tratamentos testemunha, carbonatos e calcário, mas sendo diferente estatisticamente apenas do primeiro. Para o fator classe de solo, o Argissolo foi diferente estatisticamente do Planossolo somente no tratamento testemunha.

Segundo a CQFS-RS/SC (2016), o teor adequado de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para a cultura da cebola deve ser maior que 10 mg kg<sup>-1</sup>, diante disso, nota-se que apenas no tratamento testemunha, na classe Planossolo, os teores apresentavam abaixo do recomendado nas duas ocasiões avaliadas. A ideia inicial do trabalho foi avaliar um solo com quantidades suficientes de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para a cultura da cebola (Argissolo) e um com quantidades insuficientes (Planossolo). Diante destes resultados, nota-se no tratamento testemunha nos dois solos, coerência para tal propósito, embora, no Planossolo aos 49 DAT, os teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> encontravam-se próximos do limite considerado suficiente para a cultura.

O enxofre inorgânico, a forma disponível para as plantas, ocorre na forma de ânion sulfato. Grande parte do enxofre do solo nas regiões úmidas está relacionada com a matéria orgânica. Através de transformações biológicas, análogas àquelas do nitrogênio, os sulfatos e os compostos de sulfato são produzidos e disponibilizados para as plantas, pelo processo de mineralização da matéria orgânica (SFREDO & LANTMANN, 2007). Práticas como calagem e aplicação de fosfatos solúveis

proporcionam diminuição na adsorção do sulfato, aumentando a disponibilidade deste elemento na solução do solo. As fontes de enxofre para as culturas são: sulfato de amônio; superfosfato simples; sulfato de potássio; sulfato duplo de K e Mg; enxofre elementar; gesso agrícola, entre outros.

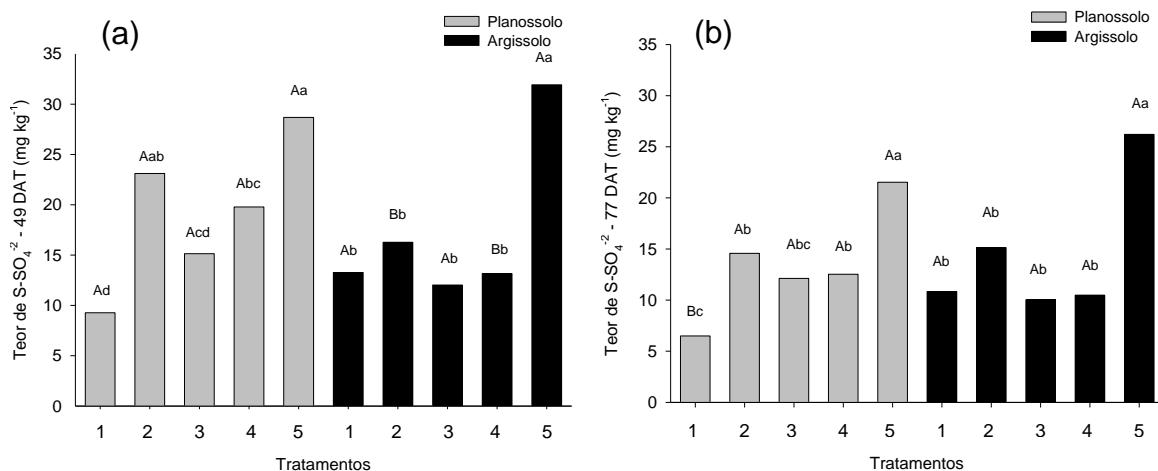


Figura 10 - Teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo. 49 DAT (a) – 77 DAT (b). 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.3.2. Nitrogênio mineral, fósforo e potássio do solo

Para a variável teor de N mineral do solo, não houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Tabela 13).

O N mineral no solo, representado predominantemente pelas formas amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), resulta de diversas transformações do N orgânico, as quais sofrem influência de diferentes fatores ambientais, dentre os quais, destaca-se o pH do solo (CAMARGO et al., 2008). A aplicação de materiais corretivos proporciona aumento nos teores de cátions trocáveis, e diminuição do Al tóxico, fatores esses que aumentam a atividade de organismos mineralizadores (DANCER et al., 1973). Entretanto, no presente estudo, não foi observado efeito do pH do solo na mineralização do N.

Tabela 14 - Teores de N mineral ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ), P e K do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
N mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ )					
Planossolo	22,59 Aa	26,80 Aa	21,36 Aa	24,67 Aa	30,40 Aa
Argissolo	25,81 Aa	31,12 Aa	22,70 Aa	26,99 Aa	24,37 Aa
P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )					
Planossolo	20,78 Aa	24,08 Aa	24,72 Aa	24,60 Aa	25,33 Aa
Argissolo	10,92 Ba	11,75 Ba	11,36 Ba	12,69 Ba	13,36 Ba
K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )					
Planossolo	102,15 Ab	146,74 Aa	146,74 Aa	147,06 Aa	148,32 Aa
Argissolo	59,46 Ba	59,45 Ba	57,24 Ba	59,46 Ba	62,93 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de P (Mehlich -1) no solo, houve efeito isolado do fator classe de solo (Tabela 13), onde o Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos. Os teores de argila e tipo de mineralogia podem influenciar na adsorção de fósforo no solo. Segundo Fox & Searle (1978), o processo de adsorção pode acontecer preferencialmente, segundo uma ordem de predomínio dos seguintes minerais: argilas 2:1 < argilas 1:1 < óxidos de Fe e Al. Quanto aos teores de argila, as classes Argissolo e Planossolo apresentavam 250 e 78  $\text{mg kg}^{-1}$  de argila, respectivamente. O maior teor de argila do Argissolo pode ter contribuído para uma maior adsorção e um menor teor de P encontrado nessa classe.

A aplicação de materiais corretivos, ao elevar o pH do solo pela produção de hidroxilas, promove a diminuição da adsorção do P aos óxidos de Fe e Al, elevando seus teores disponíveis. Entretanto, não foi observado, no presente estudo, efeito da aplicação dos insumos nos teores de P do solo.

Segundo a CQFS-RS/SC (2016), considerando os teores de argila do Argissolo e Planossolo utilizados (Tabela 6), os teores críticos de P são de 18,0 e 30,0  $\text{mg kg}^{-1}$ . Diante disso, nota-se que em ambos os solos, os teores de P estavam abaixo do considerado adequado para a cultura.

Para a variável teor de K no solo, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Tabela 13). Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Planossolo, onde a aplicação dos insumos proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos.

A aplicação de materiais corretivos, eleva o pH do solo e consequentemente a CTC efetiva, favorecendo a manutenção do teor de K trocável do solo. Segundo a CQFS-RS/SC (2016), considerando a CTC potencial do Argissolo e Planossolo utilizados (Tabela 6), seus teores críticos são de  $61 \text{ mg kg}^{-1}$  para ambas as classes. Diante disso, nota-se que no Planossolo, todos os tratamentos estavam acima desse nível. Já para o Argissolo, apenas o tratamento carbonatos + gesso apresentou tais valores, contudo, nos demais tratamentos, os teores foram muito próximos aos níveis críticos e não houve diferença entre os tratamentos.

### 6.3.2. Cálcio, magnésio e enxofre da fitomassa da cebola

Para a variável teor de Ca na fitomassa da cebola, aos 49 e 77 DAT, não houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 11a-b). Segundo Reuter & Robinson (1988); Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994), a faixa adequada de teores de Ca no tecido da cebola é de  $9 - 35 \text{ g kg}^{-1}$ . Aos 49 DAT, nota-se que os teores encontravam-se acima dessa faixa em todos os tratamentos, o que não ocorreu aos 77 DAT, onde os valores situaram-se dentro dessa faixa.

Já para a variável acúmulo de Ca na fitomassa da cebola, aos 49 DAT, houve efeito dos dois fatores estudados (Figura 11c). Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Argissolo, onde o subproduto proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente apenas do calcário. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos tratamentos. Já aos 77 DAT (Figura 11d), houve efeito isolado do fator classe de solo, onde no tratamento testemunha e subproduto, o Argissolo, apresentou os menores valores, sendo diferente estatisticamente do Planossolo. A maior produção de fitomassa no Planossolo (Figura 14), principalmente aos 49 DAT, proporcionou tais resultados.

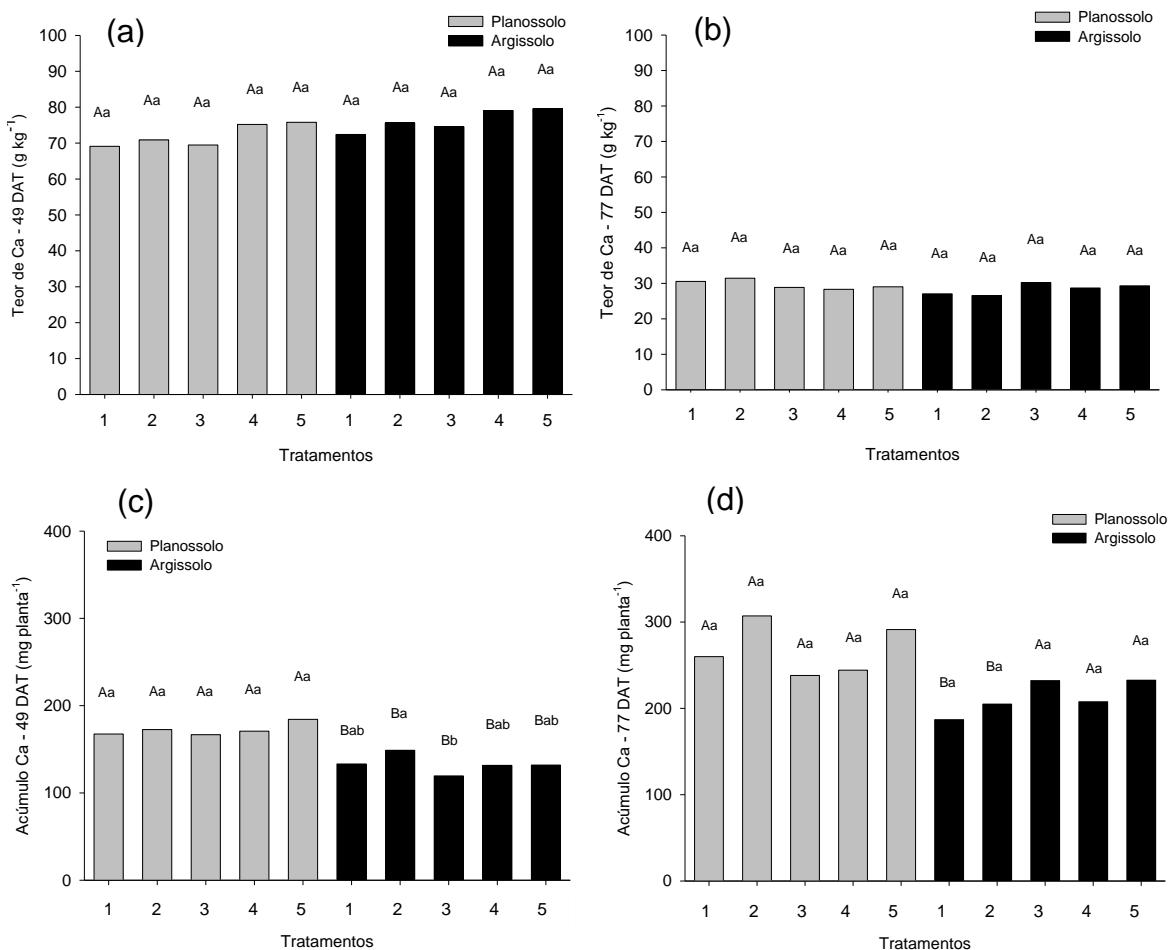


Figura 11 - Teores de Ca (a-b) e seu acúmulo (c-d) na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de Mg na fitomassa da cebola, aos 49 DAT, não houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Figura 12a). Já aos 77 DAT (Figura 12b), houve efeito dos dois fatores estudados. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, a aplicação de calcário proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, com exceção do subproduto. A necessidade de Mg para um ótimo crescimento da cebola é de cerca de 4,0 g kg<sup>-1</sup> da massa seca da parte vegetativa da planta (FARIA et al., 2007). Diante disso, nota-se que, nos dois tempos, para todos os tratamentos, os teores encontravam-se acima do considerado ótimo.

Já para o acúmulo de Mg, aos 49 DAT (Figura 12c), houve efeito isolado do fator classe de solo, tendo o Planossolo apresentado os maiores valores acumulados

para esse nutriente. Isto se deu principalmente pela maior produção de fitomassa encontrada nessa classe (Figura 14). Aos 77 DAT (Figura 11d) não houve efeito significativo para os fatores estudados.

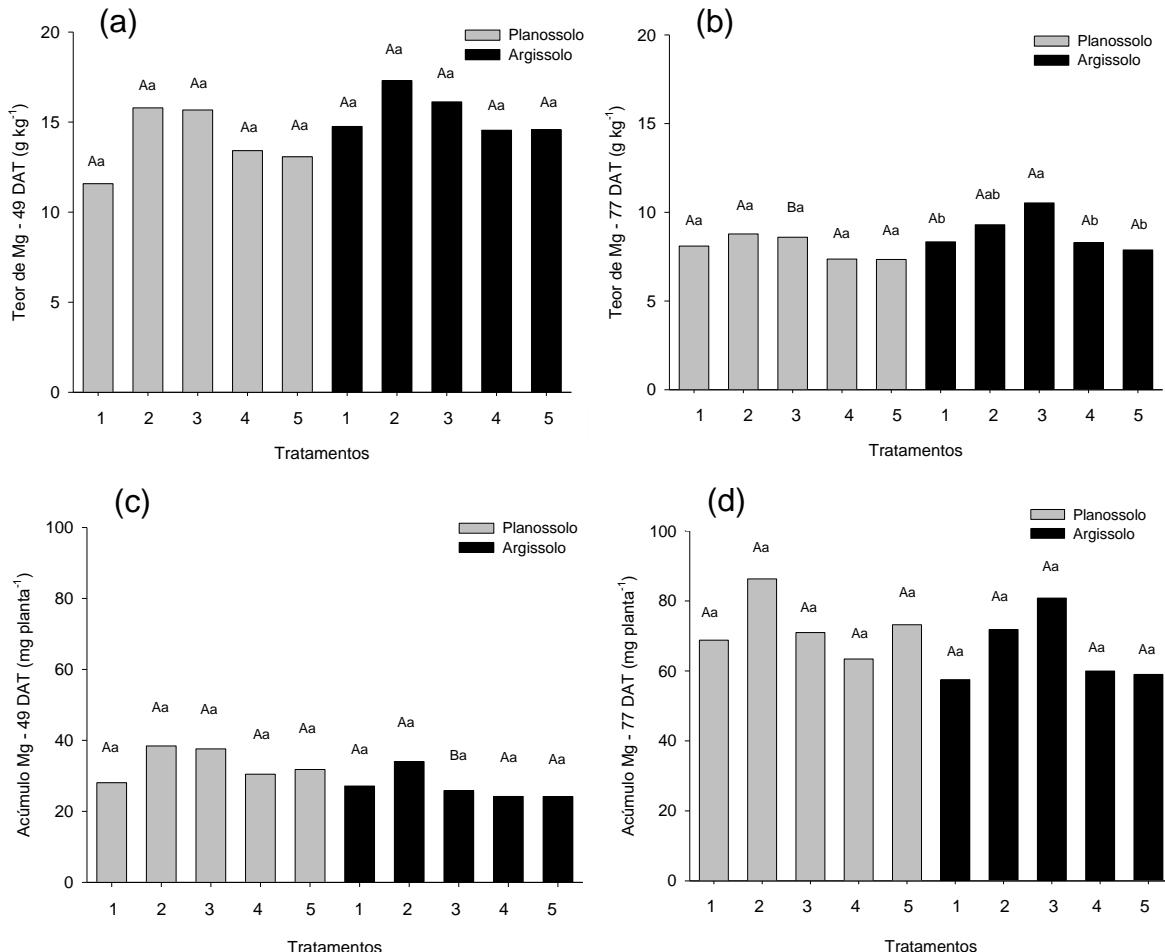


Figura 12 - Teores de Mg (a-b) e seu acúmulo (c-d) na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de S na fitomassa da cebola, aos 49 DAT (Figura 13a), houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Argissolo, onde a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, especialmente da testemunha, que apresentou os menores valores, diferindo também do subproduto, calcário e carbonatos. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores no tratamento testemunha, sendo diferente estatisticamente do Argissolo. Porém, quando da aplicação dos carbonatos + gesso,

ocorreu o contrário, onde o Argissolo proporcionou maiores teores de S acumulados. Aos 77 DAT (Figura 13b), no Argissolo a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Como ocorreu aos 49 DAT, o tratamento testemunha apresentou os menores valores, entretanto, diferiu estatisticamente apenas do subproduto. Já no Planossolo, não houve diferença entre os insumos aplicados, somente quanto a testemunha. Segundo Trani et al. (2014), a faixa adequada de S no tecido da cebola é de 5 – 8 g kg<sup>-1</sup>. Diante disso, nota-se que, aos 49 DAT, apenas a aplicação do subproduto proporcionou absorção suficiente para se enquadrar nessa faixa em ambas as classes. Já a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou teores considerados adequados somente no Argissolo. Já aos 77 DAT, a aplicação do subproduto, no Planossolo e dos carbonatos + gesso em ambas as classes, proporcionaram teores considerados adequados para a cultura.

Para a variável acúmulo de S na fitomassa da cebola, aos 49 DAT (Figura 13c), houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Argissolo, onde a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, com exceção do subproduto. Esse último também mostrou valores elevados no acúmulo de S, diferindo dos carbonatos e da testemunha. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo nos tratamentos testemunha, subproduto, calcário e carbonatos. Aos 77 DAT (Figura 13d), também houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, os maiores valores foram encontrados quando da aplicação dos carbonatos + gesso, que diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Como ocorreu aos 49 DAT, o subproduto também mostrou valores elevados no acúmulo de S, diferindo estatisticamente da testemunha, sem, no entanto, apresentar diferença para os demais. No Planossolo, a aplicação dos carbonatos + gesso e subproduto apresentaram os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Nota-se, que a aplicação do subproduto e dos carbonatos + gesso (fonte conhecida de enxofre), de forma geral, se comportou de maneira semelhante para a variável acúmulo de S da fitomassa da cebola. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos. Isso se deu devido ao maior teor de S e produção de fitomassa (Figura 14) encontrados nessa classe.

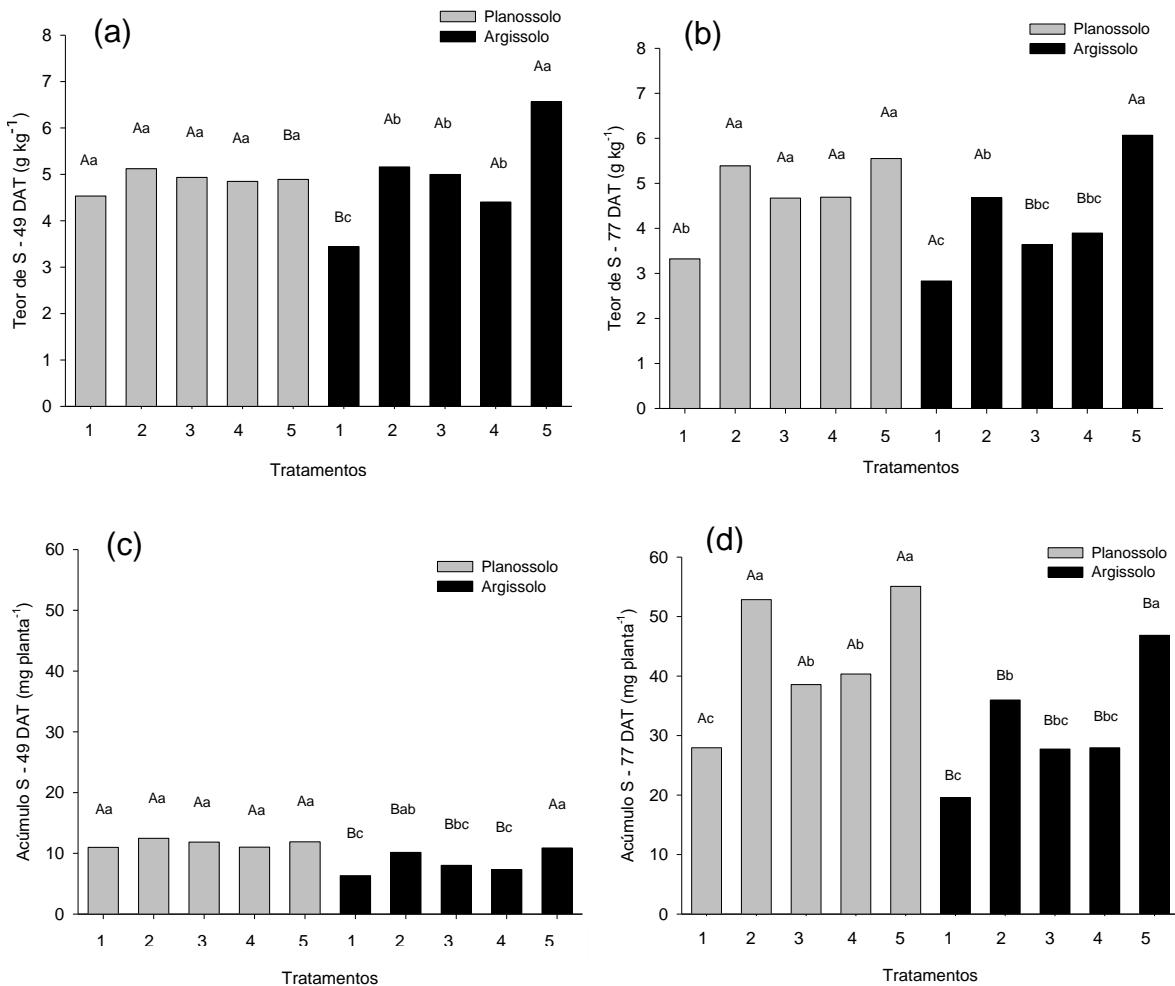


Figura 13 - Teores de S (a-b) e seu acúmulo (c-d) na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados. 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.3.3. Nitrogênio, fósforo e potássio da fitomassa da cebola

Para a variável teor de N na fitomassa da cebola, aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Tabela 14). Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento carbonatos, porém, sem diferir dos demais tratamentos. Segundo Malavolta & Malavolta (1989), há uma interação sinérgica entre S e N, onde a aplicação do primeiro favorece a absorção do segundo, o que pode ter ocorrido no presente estudo. Já para o Planossolo, não houve diferença entre os insumos. Para o fator classe de solo, o Argissolo apresentou os maiores valores em todos os tratamentos, havendo diferença significativa para o Planossolo quando da

aplicação do subproduto, calcário e carbonatos + gesso. A maior produção de fitomassa da cebola no Planossolo (Figura 14) pode ter ocasionado um efeito de diluição nos teores desse elemento. Aos 77 DAT houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Planossolo, a aplicação dos insumos proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha, com exceção do tratamento carbonatos, que apresentou valores intermediários. Já no Argissolo, não houve diferença entre os insumos aplicados. Ainda aos 77 DAT, para o fator classe de solo, o Argissolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Planossolo no tratamento testemunha e quando da aplicação dos carbonatos. Segundo Reuter & Robinson (1988); Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994), a faixa adequada de N no tecido da cebola é de 19 – 40 g kg<sup>-1</sup>. Diante disso, nota-se que, nos dois tempos avaliados, para todos os tratamentos os teores atingiram níveis considerados adequados para a cultura.

Para a variável acúmulo de N (Tabela 14), aos 49 DAT, houve efeito isolado do fator classe de solo, onde, diferentemente da variável teor de N, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo quando da aplicação do calcário, carbonatos, além do tratamento testemunha. Isso se deu devido a maior produção de fitomassa encontrada no Planossolo (Figura 14). Já aos 77 DAT, houve efeito isolado do fator tipo de insumo, onde a aplicação do subproduto e dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores acúmulos, sendo diferente estatisticamente da testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais tratamentos.

Tabela 15 - Teores de N e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	31,97 Aa	29,27 Ba	30,33 Ba	31,62 Aa	28,68 Ba
Argissolo	35,04 Aab	34,27 Aab	36,33 Aab	33,39 Ab	37,86 Aa
Acúmulo de N ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	77,60 Aa	71,14 Aa	72,81 Aa	71,99 Aa	69,79 Aa
Argissolo	64,44 Ba	67,50 Aa	58,18 Ba	55,47 Ba	62,80 Aa
Teor de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	20,67 Bb	26,97 Aa	24,96 Aa	23,67 Bab	25,73 Aa
Argissolo	27,20 Aa	28,97 Aa	28,85 Aa	28,09 Aa	28,32 Aa
Acúmulo de N ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	174,26 Ab	264,90 Aa	205,99 Aab	203,71 Aab	259,40 Aa
Argissolo	188,30 Aa	224,02 Aa	220,80 Aa	201,93 Aa	224,95 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de P na fitomassa da cebola, aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Tabela 15). Para o fator tipo de insumo, na classe Argissolo, a aplicação do subproduto proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos tratamentos calcário, carbonatos e testemunha. Já para a classe Planossolo, os maiores valores foram encontrados com a aplicação dos carbonatos + gesso, que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Segundo Malavolta & Malavolta (1989), há uma interação sinérgica entre S, Mg e P, onde a aplicação do primeiro e segundo favorece a absorção do terceiro, o que pode ter ocorrido no presente estudo. Para o fator classe de solo, o Argissolo apresentou os maiores valores em todos os tratamentos, havendo diferença significativa. De forma semelhante, aos 77 DAT, também houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Planossolo, a aplicação do calcário e carbonatos apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do tratamento testemunha e subproduto. No Argissolo não houve diferença entre os tratamentos. Para o fator classe de solo, o Argissolo apresentou os maiores valores, diferindo significativamente do Planossolo no tratamento testemunha, subproduto e carbonatos + gesso. Segundo Reuter & Robinson (1988); Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et

al. (1994), a faixa adequada de P no tecido da cebola é de 2,5 – 4 g kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, aos 49 DAT, para o Argissolo, em todos os tratamentos os teores atingiram níveis considerados adequados para a cultura, contudo, para o Planossolo, apenas a aplicação dos carbonatos e carbonatos + gesso proporcionaram tais níveis. Já aos 77 DAT, apenas os tratamentos testemunha e subproduto no Planossolo apresentaram teores abaixo do adequado.

Para a variável acúmulo de P na fitomassa da cebola (Tabela 15), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores classe de solo e tipo de insumo, onde, assim como para a variável teor de P, o Argissolo apresentou os maiores valores na maioria dos tratamentos, em relação ao Planossolo quando da aplicação do subproduto e do calcário. Já com a aplicação dos carbonatos + gesso, ocorreu o inverso, onde o Planossolo foi superior. Isso se deu devido aos maiores teores de P na aplicação desse insumo nessa classe, que juntamente a maior produção de fitomassa (Figura 14), ocasionou tal resultado. Aos 77 DAT, também houve efeito dos dois fatores de estudo. Para o fator tipo de insumo, no Planossolo, a aplicação de calcário, carbonatos e carbonatos + gesso apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente da testemunha, sem, no entanto, diferir do subproduto. Para o fator classe de solo, a diferença se deu apenas no tratamento testemunha, onde o Argissolo foi responsável pelos maiores valores.

Tabela 16 - Teores de P e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	2,42 Bbc	2,16 Bbc	1,95 Bc	2,66 Bb	3,43 Ba
Argissolo	3,57 Ac	4,80 Aa	4,14 Abc	3,77 Abc	4,28 Aab
Acúmulo de P ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	5,88 Ab	5,26 Bbc	4,68 Bc	6,02 Ab	8,33 Aa
Argissolo	6,56 Ab	9,43 Aa	6,62 Ab	6,27 Ab	7,09 Bb
Teor de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	1,97 Bc	2,30 Bbc	3,34 Aa	3,02 Aa	2,70 Bab
Argissolo	3,33 Aa	3,38 Aa	3,64 Aa	3,28 Aa	3,65 Aa
Acúmulo de P ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	16,41 Bb	22,81 Aab	27,57 Aa	26,02 Aa	27,61 Aa
Argissolo	23,03 Aa	26,05 Aa	27,89 Aa	23,64 Aa	28,99 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de K na fitomassa da cebola (Tabela 16), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, a aplicação dos carbonatos + gesso proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha e carbonatos, sem, no entanto, diferir dos demais. Já no Planossolo, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores para a maioria dos tratamentos, havendo diferença significativa no tratamento testemunha e com a aplicação dos carbonatos. Isso ocorreu devido ao maior teor de K naturalmente presente no Planossolo (Tabela 6). Aos 77 DAT, também houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Planossolo, os maiores valores foram encontrados quando da aplicação do calcário, que diferiu estatisticamente do tratamento testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais insumos. No Argissolo não houve diferença entre os tratamentos. Segundo Reuter & Robinson (1988); Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994), a faixa adequada de K no tecido da cebola é de 20 – 50  $\text{g kg}^{-1}$ . Diante disso, nota-se que, independente do fator de estudo, todos os tratamentos atingiram níveis considerados adequados para a cultura em ambos os tempos coletados.

Para a variável acúmulo de K na fitomassa da cebola (Tabela 16), aos 49 DAT, houve efeito isolado do fator classe de solo, onde os maiores valores foram encontrados no Planossolo, sendo diferente estatisticamente do Argissolo em todos tratamentos. Isso se deu devido aos maiores teores de K e produção de fitomassa encontrados no Planossolo (Figura 14). Já aos 77 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Planossolo, onde a aplicação do subproduto e carbonatos + gesso apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais insumos. Para o fator classe de solo, assim como aos 49 DAT, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo em todos tratamentos.

O K é o elemento mais abundante na cebola, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes (VIDIGAL et al., 2002).

Tabela 17 - Teores de K e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	39,08 Aa	38,09 Aa	38,09 Aa	42,32 Aa	38,01 Aa
Argissolo	33,06 Bb	35,58 Aab	35,94 Aab	33,60 Bb	40,97 Aa
Acúmulo de K ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	94,89 Aa	92,72 Aa	91,31 Aa	96,29 Aa	92,70 Aa
Argissolo	60,76 Ba	70,09 Ba	57,56 Ba	55,93 Ba	68,04 Ba
Teor de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	27,79 Ab	34,47 Aab	37,06 Aa	33,58 Aab	34,56 Aab
Argissolo	24,85 Aa	25,56 Ba	23,52 Ba	24,58 Ba	22,98 Ba
Acúmulo de K ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	233,97 Ab	339,91 Aa	305,82 Aab	288,91 Aab	345,54 Aa
Argissolo	171,48 Ba	197,10 Ba	179,72 Ba	176,81 Ba	182,48 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 6.3.4. Cobre, zinco, ferro e manganês da fitomassa da cebola

Para a variável teor de Cu na fitomassa da cebola (Tabela 17), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo,

a aplicação do subproduto no Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do tratamento carbonatos + gesso, sem, no entanto diferir dos demais tratamentos. Para o fator classe de solo, os maiores valores, no geral, foram encontrados no Planossolo, diferindo estatisticamente do Argissolo no tratamento testemunha e quando da aplicação dos carbonatos + gesso. De forma semelhante, aos 77 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Planossolo, onde os maiores valores foram encontrados quando da aplicação do subproduto, que diferiu estatisticamente do tratamento testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais tratamentos. Para o fator classe de solo, houve diferença apenas no tratamento testemunha, sendo o Argissolo responsável pelos maiores valores. Segundo a CQFS-RS/SC (2016), a faixa adequada de Cu no tecido da cebola é de 6 - 20 mg kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, aos 49 DAT, os teores encontravam-se, com exceção do tratamento testemunha no Argissolo, abaixo do considerado adequado. Já no 77 DAT os tratamentos encontravam-se dentro da faixa considerada adequada, com exceção do tratamento testemunha no Planossolo.

Para a variável acúmulo de Cu na fitomassa da cebola (Tabela 17), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o primeiro, a aplicação do subproduto no Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos tratamentos carbonatos e carbonatos + gesso. Não houve diferença estatística entre os insumos no Argissolo. Já para o fator classe de solo, a diferença se deu quando da aplicação do subproduto, sendo os maiores valores encontrados no Planossolo. De forma semelhante, aos 77 DAT também houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Planossolo, onde a aplicação do subproduto proporcionou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do tratamento testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais insumos.

Para a variável teor de Zn na fitomassa da cebola (Tabela 17), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais. Já no Planossolo, não houve diferença estatística entre os insumos avaliados. Para o fator classe de solo, a diferença se deu apenas no tratamento testemunha, sendo o Argissolo responsável pelos maiores valores. De forma semelhante, aos 77 DAT, houve efeito dos dois fatores de estudo. Para o fator

tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Argissolo, onde o tratamento testemunha foi responsável pelos maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais, sem, no entanto, diferir do tratamento subproduto. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo somente nos tratamentos em que houve aplicação dos insumos. Segundo Trani & Raij (1997), a faixa adequada de Zn no tecido da cebola é de 30 - 100 mg kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, com exceção do tratamento testemunha aos 49 DAT, todos os tratamentos encontravam-se dentro dessa faixa.

Para a variável acúmulo de Zn na fitomassa da cebola (Tabela 17), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o primeiro, no Argissolo, o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais, com exceção do tratamento com aplicação do subproduto. Para o Planossolo, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Já para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos, com exceção da testemunha, que ocorreu o inverso, onde o Argissolo proporcionou os maiores valores. De forma semelhante, aos 77 DAT, houve efeito dos dois fatores de estudo. Para o fator tipo de insumo, a diferença se deu apenas no Argissolo, onde o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos carbonatos, sem, no entanto, diferir dos demais tratamentos. Para o fator classe de solo, a diferença se deu apenas quando da aplicação dos insumos, onde o Planossolo apresentou os maiores valores.

Tabela 18 - Teores de Cu e Zn e seus acúmulos na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	4,59 Bab	5,90 Aa	4,93 Aab	4,11 Aab	3,59 Bb
Argissolo	6,36 Aa	5,39 Aa	5,60 Aa	4,66 Aa	5,33 Aa
Acúmulo de Cu (μg planta <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	11,11 Aab	14,35 Aa	8,96 Aab	9,37 Ab	8,69 Ab
Argissolo	11,73 Aa	10,58 Ba	11,68 Aa	7,74 Aa	8,90 Aa
Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	4,69 Bb	7,80 Aa	7,30 Aab	6,35 Aab	7,09 Aab
Argissolo	8,66 Aa	7,04 Aa	6,48 Aa	5,98 Aa	6,82 Aa
Acúmulo de Cu (μg planta <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	40,34 Ab	78,67 Aa	60,42 Aab	54,76 Aab	71,88 Aab
Argissolo	60,23 Aa	54,32 Aa	49,51 Aa	42,82 Aa	54,21 Aa
Teor de Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	41,59 Ba	86,15 Aa	73,31 Aa	65,32 Aa	71,81 Aa
Argissolo	119,39 Aa	62,74 Ab	54,61 Ab	32,17 Ab	50,89 Ab
Acúmulo de Zn (μg planta <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	100,66 Ba	210,54 Aa	176,17 Aa	149,36 Aa	173,64 Aa
Argissolo	218,48 Aa	125,15 Bab	85,76 Bb	53,74 Bb	84,19 Bb
Teor de Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	59,44 Aa	72,56 Aa	69,22 Aa	75,46 Aa	56,14 Aa
Argissolo	72,05 Aa	52,05 Bab	45,78 Bb	37,35 Bb	40,29 Bb
Acúmulo de Zn (μg planta <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	513,36 Aa	713,97 Aa	571,72 Aa	649,80 Aa	560,87 Aa
Argissolo	497,18 Aa	400,69 Bab	351,07 Bab	269,03 Bb	320,29 Bab

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável teor de Fe na fitomassa da cebola (Tabela 18), aos 49 DAT, não houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Já aos 77 DAT, houve efeito dos dois fatores estudados. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, os maiores valores foram encontrados quando da aplicação do subproduto, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha, sem, no entanto, diferir dos demais insumos. No Planossolo, o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente da aplicação dos carbonatos, sem, no entanto, diferir dos

demais tratamentos. Segundo CQFS-RS/SC (2016), a faixa adequada de Fe no tecido da cebola é de 60 - 300 mg kg<sup>-1</sup>. Diante disso, nota-se que os teores encontravam-se, em ambos tempos coletados na faixa considerada adequada.

Para a variável acúmulo de Fe na fitomassa da cebola (Tabela 18), aos 49 DAT, não houve efeito dos fatores estudados no trabalho. Já aos 77 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o primeiro, a diferença se deu apenas no Planossolo, onde o tratamento testemunha e a aplicação do subproduto proporcionaram os maiores valores, diferindo estatisticamente dos carbonatos, sem, no entanto, diferir dos demais tratamentos. Para o fator classe de solo, a diferença se deu apenas no tratamento testemunha, onde o Planossolo foi responsável pelos maiores valores.

Para a variável teor de Mn na fitomassa da cebola, aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo (Tabela 18). Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais. Já no Planossolo, os maiores valores foram encontrados quando da aplicação do subproduto, diferindo estatisticamente dos demais insumos, sem, no entanto, diferir do tratamento testemunha. Para o fator classe de solo, os maiores valores foram encontrados no Planossolo, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos, com exceção da testemunha. De forma semelhante, aos 77 DAT, houve efeito dos dois fatores de estudo. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, o tratamento testemunha foi responsável pelos maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais. Já no Planossolo, a aplicação do subproduto proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos carbonatos e carbonatos + gesso, sem, no entanto, diferir dos demais tratamentos. Para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos. Segundo Trani & Raij (1997), a faixa adequada de Mn no tecido da cebola é de 50 - 200 mg kg<sup>-1</sup>. Nota-se que, em ambos os tempos, o tratamento testemunha para o Argissolo, e todos os tratamentos no Planossolo encontravam-se acima dessa faixa. Os maiores valores de pH em água no Argissolo (Tabela 12) fizeram que o teor, e consequente acúmulo de Mn, fosse menor nesse solo.

Para a variável acúmulo de Mn na fitomassa da cebola (Tabela 18), aos 49 DAT, houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o primeiro, no Argissolo, o tratamento testemunha apresentou os maiores valores, diferindo

estatisticamente dos demais, com exceção do tratamento com aplicação do subproduto. No Planossolo, o subproduto apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Já para o fator classe de solo, o Planossolo apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente do Argissolo em todos os tratamentos. A maior produção de fitomassa, juntamente com os maiores teores de Mn no Planossolo contribuíram para esses resultados. Aos 77 DAT ocorreram resultados semelhantes.

Tabela 19 - Teores de Fe e Mn e seus acúmulos na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo - dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	126,53 Aa	127,01 Aa	119,36 Aa	115,57 Aa	117,58 Aa
Argissolo	119,46 Aa	150,63 Aa	146,13 Aa	132,15 Aa	139,99 Aa
Acúmulo de Fe ( $\mu\text{g planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	303,93 Aa	297,24 Aa	285,56 Aa	264,34 Aa	285,85 Aa
Argissolo	220,80 Aa	308,83 Aa	233,10 Aa	218,79 Aa	230,82 Aa
Teor de Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	147,74 Aa	127,19 Aab	102,98 Aab	79,77 Ab	102,44 Aab
Argissolo	88,62 Bb	142,60 Aa	122,20 Aab	96,45 Aab	101,73 Aab
Acúmulo de Fe ( $\mu\text{g planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	1249,69 Aa	1242,33 Aa	858,03 Aab	686,04 Ab	1055,27 Aab
Argissolo	612,20 Ba	1102,48 Aa	933,56 Aa	700,34 Aa	808,19 Aa
Teor de Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	530,94 Aab	772,69 Aa	484,32 Ab	490,11 Ab	311,16 Ab
Argissolo	376,71 Aa	88,95 Bb	70,98 Bb	51,32 Bb	62,46 Bb
Acúmulo de Mn ( $\mu\text{g planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	1286,00 Ab	1885,05 Aa	1159,70 Ab	1122,79 Ab	755,37 Ab
Argissolo	692,81 Ba	175,65 Bab	113,68 Bb	85,13 Bb	104,25 Bb
Teor de Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	595,43 Aab	664,88 Aa	554,72 Aab	489,01 Ab	255,67 Ac
Argissolo	487,26 Ba	84,66 Bb	67,71 Bb	36,40 Bb	48,38 Bb
Acúmulo de Mn ( $\mu\text{g planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	4963,59 Ab	6535,58 Aa	4578,48 Ab	4226,87 Ab	2549,22 Ac
Argissolo	3361,54 Ba	652,70 Bb	517,76 Bb	261,34 Bb	384,45 Bb

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### **6.3.5. Produção de fitomassa da cebola**

Para a variável produção de fitomassa (bulbo + folhas) da cebola, aos 49 DAT (Figura 14a), houve efeito dos fatores tipo de insumo e classe de solo. Para o fator tipo de insumo, no Argissolo, a aplicação do subproduto proporcionou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos outros insumos, sem, no entanto, diferir do tratamento testemunha. A caracterização química do subproduto (Tabela 1) demonstra que esse possui macro e micronutrientes na sua constituição que podem ter colaborado para a maior produção de fitomassa. No Planossolo, não houve diferença estatística entre os insumos. Para o fator classe de solo, houve diferença entre todos os tratamentos, sendo a maior produção de fitomassa encontrada no Planossolo. Já aos 77 DAT (Figura 14b), houve efeito isolado do fator classe de solo, onde o Planossolo apresentou os maiores valores, sendo diferente estatisticamente do Argissolo quando da aplicação do subproduto e carbonatos + gesso.

Segundo Costa & Resende (2007), a cebola se desenvolve melhor em solos de textura média, podendo solos de textura muito argilosa causar impedimentos físicos (camadas compactadas, adensadas e encrostamentos) que prejudicam o bom desenvolvimento das raízes e dos bulbos. Isso pode ter contribuído para a maior produção de fitomassa encontrada na classe Planossolo.

Pôrto et al. (2006), avaliando o acúmulo de massa seca do híbrido de cebola 'Optima', observaram máximo valor aos 150 dias após a semeadura. No mesmo estudo, os autores encontraram valores para as contribuições das folhas e do bulbo para a massa seca de planta inteira ao final do ciclo foram de, respectivamente, 30% e 70%.

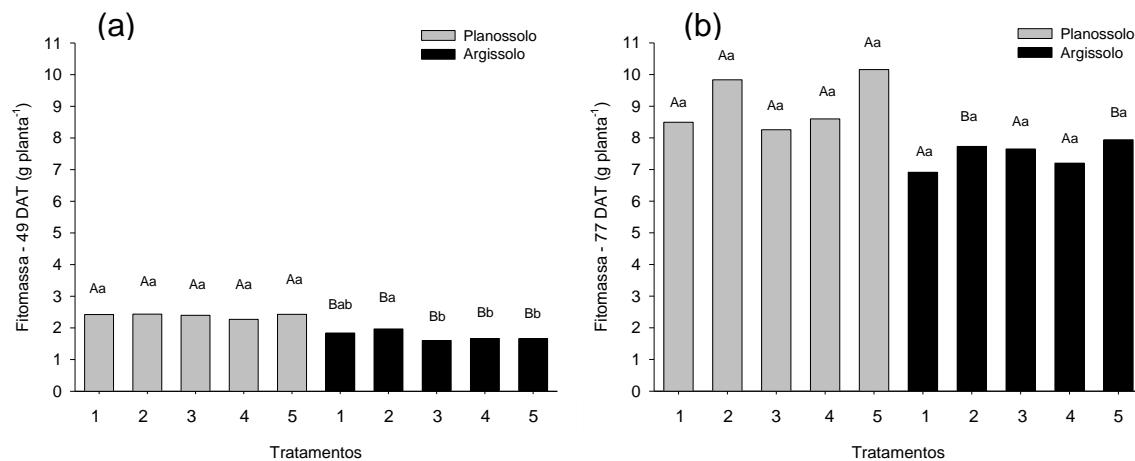


Figura 14 – Fitomassa seca da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo. 49 DAT (a) - 77 DAT (b). 1 = Testemunha; 2 = Subproduto; 3 = Calcário; 4 = Carbonatos; 5 = Carbonatos + Gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si, maiúscula para classe de solo, minúscula para tipo de insumo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 7. DISCUSSÃO GERAL

### 7.1. Estudo I

O Poder de neutralização (PN) do calcário, da 1<sup>a</sup> e da 2<sup>a</sup> haste foram calculados com base nos seus teores de CaO e MgO (Tabela 1) e determinados em laboratório. Pode-se observar (Tabela 4) semelhança nos resultados entre essas duas formas de verificação, sendo que a segunda apresentou tendência de maiores valores. Quanto à diferença entre os insumos, houve valores maiores para o calcário e semelhança entre os subprodutos.

A aplicação dos subprodutos proporcionou aumento no pH do solo, porém, em magnitude inferior ao calcário. Para atingir pH 6,0, foi necessário aplicar 2,3 e 2,6 vezes a quantidade em gramas da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente, quando comparado ao calcário. Isso se deu devido ao menor PN dos subprodutos (54,5 e 55,8 para a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente – PN calculado).

Os subprodutos, além da capacidade de elevar o pH do solo, também demonstram ser fontes de cálcio, magnésio e enxofre. Para atingir o nível considerado suficiente de cálcio para as plantas ( $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), foi necessário aplicar 2 e 2,1 vezes a quantidade em gramas da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente, quando comparado ao calcário. Já para o magnésio, para atingir o mesmo teor, comparado ao calcário, foi necessário aplicar 2,1 e 1,9 vezes a quantidade em gramas da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, respectivamente. Esses resultados são diretamente influenciados pelos teores de

CaO e MgO desses insumos (Tabela 1), onde, por apresentar menores valores desses compostos, foi necessário neste estudo, aplicar maiores quantidades em gramas dos subprodutos. Como pôde ser observado, a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste são fontes similares quanto à concentração e disponibilidade de cálcio e magnésio no solo.

Ao contrário do que ocorreu para o cálcio e o magnésio no solo, houve diferença entre os subprodutos em relação a disponibilidade de enxofre no solo, sendo a 2<sup>a</sup> haste a fonte que proporcionou os maiores valores. Como exemplo, para atingir o ponto de máximo teor de enxofre analisado para a 1<sup>a</sup> haste e calcário, foi necessário aplicar, respectivamente, doses 2,6 e 3,0 vezes menores da 2<sup>a</sup> haste. Isso se deu, provavelmente, ao maior teor de S da 2<sup>a</sup> haste (1,70%, tabela 1) e a possível maior reatividade do mineral pirita presente na amostra. Como visto, a 1<sup>a</sup> haste e o calcário apresentaram comportamento similar.

## 7.2. Estudo II

Tanto o calcário como os subprodutos apresentam CaO e MgO, que em contato com o solo liberam, respectivamente, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocável para as plantas. O calcário apresenta maiores teores desses compostos do que os subprodutos, razão pela qual se enquadra na legislação como corretivo agrícola, entretanto, para as variáveis teor e acúmulo de cálcio na parte aérea do milho, de forma geral, os insumos se comportaram de maneira semelhante. Já para as variáveis teor e acúmulo de magnésio na parte aérea do milho, os subprodutos apresentaram menores valores do que o calcário, entretanto, sua aplicação, também mostrou ser eficiente no fornecimento desse nutriente para as plantas.

Houve aumento nos teores de S absorvidos e acumulados pela parte aérea do milho com a aplicação dos insumos, porém, não houve diferença estatística entre esses, somente quanto às doses aplicadas. O solo utilizado nesse estudo apresentou teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> considerados suficientes para a cultura, sendo assim, a cultura não apresentou consumo de “luxo” para esse nutriente. Diante disso, notou-se a necessidade da escolha de um solo com teores baixos de enxofre para determinar a disponibilidade desse elemento pela aplicação dos subprodutos (Estudo III).

A aplicação dos insumos proporcionou maior produção de MSPA, entretanto, não houve diferença estatística entre os insumos, somente quanto às doses aplicadas. Esse resultado está relacionado aos benefícios causados pelo aumento do pH proporcionado pela aplicação tanto do calcário como dos subprodutos.

### 7.3. Estudo III

No estudo III, objetivou-se utilizar diferentes insumos (corretivos e fontes de enxofre) com o escopo inicial de elevar o pH do solo até 6. Para isso, foram utilizadas diferentes quantidades em gramas dos insumos de acordo com seus respectivos valores de PN. Com isso, foi isolado o efeito do pH nos teores de enxofre, evidenciando o efeito do insumo em si na disponibilidade desse elemento. Também foram utilizadas duas classes de solo com diferentes níveis de suficiência de enxofre, o Planossolo com teor médio e o Argissolo com teor no limite entre médio e alto (Tabela 6).

Assim como no estudo I, os subprodutos (neste estudo - mistura da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste) apresentaram potencial de elevar o pH do solo, sendo tão eficiente quanto os outros insumos no Planossolo. Já no Argissolo, apesar de elevar o pH do solo, não apresentou a mesma eficiência dos demais insumos.

Para os teores de cálcio, no Planossolo, a aplicação do subproduto foi tão eficiente quanto os outros insumos em disponibilizar esse elemento para o solo. Já no Argissolo, também houve aumento com sua aplicação, porém, em menores valores que os demais insumos. Para as variáveis teores e acúmulo de Ca na fitomassa da cebola, não houve diferença entre o subproduto e os demais tratamentos dentro da mesma classe de solo. Assim como nos estudos I e II, esses resultados evidenciam o potencial de uso da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> haste, tanto isoladas, quanto em uma mistura como fontes de cálcio.

Quanto à disponibilidade de magnésio no solo, nas duas classes avaliadas, a aplicação do subproduto foi tão eficiente quanto os demais insumos. De forma geral, ocorreu o mesmo para as variáveis teores e acúmulo de Mg na fitomassa da cebola. Esses resultados demonstram, assim como nos estudos I e II, potencial de utilização do subproduto como fonte de magnésio.

A aplicação do subproduto no Planossolo, comparado ao tratamento testemunha, proporcionou aumento de 60 e 55% nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo aos 49 e 77 DAT, respectivamente. Já no Argissolo, o aumento foi de 18 e 28% para os mesmos tempos avaliados. Entretanto, comparado ao tratamento carbonatos + gesso (fonte conhecida de S), o subproduto disponibilizou em média 35% menos S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nos dois solos e tempos avaliados. Esses resultados demonstram que a aplicação do subproduto tem potencial de disponibilizar enxofre para o solo, contudo, para o presente estudo, em menores quantidades que os carbonatos + gesso.

Para os teores de enxofre na fitomassa da cebola, nos dois tempos avaliados, a aplicação do subproduto no Planossolo, comparado ao tratamento testemunha, proporcionou aumento médio de 25% nos teores desse elemento. Já para o Argissolo o aumento foi de 37%.

Quanto ao acúmulo de enxofre na fitomassa da cebola, a aplicação do subproduto, comparado ao tratamento testemunha, proporcionou aumento médio nos dois tempos avaliados de 30 e 42% para o Planossolo e Argissolo, respectivamente. Da mesma forma, a aplicação dos carbonatos + gesso, quando comparado aos carbonatos, proporcionou aumento médio nos dois tempos avaliados de 18 e 25% para o Planossolo e Argissolo, respectivamente. Já entre o subproduto e os carbonatos + gesso, apenas no Argissolo aos 77 DAT houve incremento significativo, onde a aplicação do segundo insumo proporcionou 23% mais enxofre acumulado. Esses resultados demonstram que a aplicação do subproduto, bem como dos carbonatos + gesso, de forma geral, tem eficiência similar no acúmulo de enxofre na fitomassa da cebola.

Para a variável produção de fitomassa da cebola, de forma geral, não houve diferença estatística entre os insumos. O objetivo inicial do estudo III foi utilizar dois solos contrastantes quanto aos teores de  $S-SO_4^{2-}$  disponíveis. Com base em amostragens realizadas a campo, foram escolhidos um Planossolo e um Argissolo. O primeiro, apresentava teores considerados insuficientes para a cebola (Tabela 6), diferentemente do segundo, que os teores se encontravam próximos a faixa de suficiência para a cultura ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Contudo, durante o período experimental, foi constatado que mesmo o tratamento testemunha (sem aplicação de insumo), apresentava maiores teores de  $S-SO_4^{2-}$  disponíveis do que a análise prévia à instalação do experimento. Isso se deu, provavelmente pelo estímulo a mineralização do S orgânico causado pelo peneiramento realizado e consequente maior exposição do solo aos microrganismos mineralizadores. Essa elevação natural nos teores de  $S-SO_4^{2-}$  disponíveis para a cultura fez com que a aplicação das fontes de S não fosse tão determinante na maior produção de fitomassa, tendo em vista que os teores de  $S-SO_4^{2-}$ , mesmo no tratamento testemunha na classe Planossolo, se encontravam próximos do limite considerado suficiente para a cultura da cebola.

Diante dos resultados, ficou comprovado que a aplicação dos subprodutos fornece Ca e Mg e tem potencial de fornecer S para as plantas, corroborando a hipótese do trabalho. Para comprovar o efeito de S sobre a fitomassa das plantas pela

aplicação dos subprodutos, há ainda a necessidade de novos estudos em solos com teores de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  mais limitantes para o desenvolvimento das culturas, podendo assim evidenciar a disponibilização de S do subproduto e seu consequente efeito sobre a produção de fitomassa das plantas.

## 8. CONCLUSÕES

Os subprodutos da mineração de calcário da Formação Iratí têm potencial de aumentar o pH do solo, contudo, necessitam maiores doses do que o calcário.

A aplicação dos subprodutos proporciona incremento nos teores de cálcio e magnésio no solo e na parte aérea do milho e na fitomassa da cebola, além de maior acúmulo desses nutrientes.

A aplicação do subproduto denominado 2<sup>a</sup> haste é mais eficiente em disponibilizar enxofre para o solo.

A aplicação dos subprodutos proporciona aumento nos teores de enxofre no solo, apesar de não resultar em aumento de fitomassa da cebola.

As respostas de disponibilidade dos nutrientes cálcio, magnésio e enxofre são influenciadas pelo tipo de solo.

Os subprodutos proporcionam aumento nos teores e acúmulo de enxofre na parte aérea do milho e na fitomassa da cebola.

Os subprodutos proporcionam aumento significativo da massa seca da parte aérea da cultura do milho. Entretanto, para a cebola, de forma geral, não houve diferença estatística entre os insumos.

Diante dos resultados encontrados, os subprodutos denominados 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> hastas, constituídas de folhelhos e lentes de calcário dolomítico, tem potencial de uso como fontes de macronutrientes secundários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p.645-736.

ALVAREZ, V. V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**, Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p.595-635.

AMARAL, A. S.; DEFELIPO, B. V.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1351-1358, 1994.

AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, v.20, p.10-12, 2003.

ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminum in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). **Plant and Soil**, Netherlands, v.123, p.223-227, 1990.

ARAÚJO, L. M. **Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica nas Sequências Depositionais Iratí**. 2001. 307 f. Tese de doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

ASSMANN, T. S. **Influência da aplicação do calcário Iratí (São Mateus do Sul - PR) nos teores de S, Cu, Fe e Zn no solo e na planta de milho**. Curitiba, 1995. Dissertação, (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BARBER, S. A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E. W., ed. **The plant root and its environment**, Charlottesville, University of Virginia, 1974. p.525-564.

BEAUCLAIR, E. G. F.; OTAVIANO, J. A.; MALFATO, C. A. Condicionador orgânico de solo no incremento da produtividade da cana. **Idea News**, Ribeirão Preto, SP, 2007, 30 p.

BERTOSSI, A. P. A.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; PRADO, A. C. A.; DAMASCENO, A. C.; POLIDORO, F. C. Influência da Utilização do Resíduo Fino de Beneficiamento de Rochas Ornamentais Silicáticas na Qualidade do Solo e da Água. **Geociências**, v.31, p.185-195, 2012.

BISCARO G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. DA S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. de. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, p.1366-1373, 2008.

BISSANI, C. A; TEDESCO, M. J. O enxofre no solo. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A F. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura**. Brasileira. Londrina: EMBRAPA SOJA. SBCS, 1988. p.11-27.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. In: **Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012**. Fundação MS, Maracaju -MS, 2012. p.2-38.

CALDWELL, J. O'N.; SUMNER, M. E.; VAVRINA, C. S. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. **HortScience**, v.29, p.1501-1504 ,1994.

CAMARGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, J. M. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2008. p.87-99.

CARMONA, F. C.; CONTE, O.; FRAGA, T. I.; BARROS, T.; PULVER, E.; ANGHINONI, I. Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira em Ciência do Solo**, v.33, p.345-355, 2009.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas variáveis. **Revista Brasileira em Ciência do Solo**, v.27, p.51-59, 2003.

CHANDA, E. K. C.; DAGDELEN, K. Optimal blending of mine production using goal programming and interactive graphics systems. **International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment**, v. 9, p. 203-208, 1995.

CHAVES L. H. G.; VASCONCELOS A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.84-88, 2006.

CHICHILO, P; WHTITAKER, C. W. Trace elements in agricultural limestones of the United States. **AgroL Journal**, Madison, v.53, p.139-144, 1961.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.; SOUZA, S. K. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, p.218-224, 2008.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. Sistemas de Produção. **Cultivo da cebola no nordeste**. Embrapa Semiárido. 2007. Versão Eletrônica. Disponível em: Acesso em: 17 set. 2016.

COUTO, W.; LATHWELL, D. J.; BOULDIN, D. R. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. **Soil Science**, Baltimore, v.127, p.108-116, 1979.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Santa Maria: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFSM, 2016. 376 p.

DANCER, W. S.; PETERSON, L. A.; CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. **Soil Science Society of America**. Proceedings, Madison, v.37, p.67-69, 1973.

DEGENHARDT, J., LARSEN, P. B.; HOWELL, S. H. Aluminum resistance in the *Arabidopsis* mutant is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.117, p.19-27, 1998.

DOS ANJOS, A. **Estudo da formação Iratí - São Mateus do Sul, PR, como corretivo da acidez do solo**. Dissertação, (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

DREVER, J. I. The effect of land plants on weathering rates of silicate minerals. **Geochimica Cosmochimica Acta Journal**, v.58, p.2325-2332, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** - 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAF, 1999. 42 p.

FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S. Nutrição e adubação. In: COSTA, N. D.; REZENDE, G. M. de (Ed.). **Cultivo da cebola no Nordeste**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina**. San José, DCA, 1982. 422 p.

FORESTIERI, E. F.; DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.167-172, 1990.

FOX, R. L.; SEARLE, P. G. E. Phosphate adsorption by soils of the tropics. In: DROSDOFF, M. **Diversity of soils in the tropics**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p.97-119.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-642.

FÚLFARO, V. J. The Paraná Basin Upper Permian and Lower Mesozoic stratigraphic succession. In: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 44, p.147-148, 1972.

GOEDERT, W. J.; COREY, R. B.; SYERS, J. K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Science**, v.120, p.107-111, 1975.

GONÇALVES, P. A. S.; BOFF, P.; BOFF, M. I. C. Preparado homeopático de calcário de conchas sobre tripes e produtividade de cebola. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 22, p.91-93, 2009.

HACHIRO, J. **O Subgrupo Iratí (Neopermiano) da Bacia do Paraná.** 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Departamento de Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

HACHIRO, J.; COIMBRA, A. M.; MATOS, S. L. F. O Caráter Cronoestratigráfico da Unidade Iratí. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., Rio Claro. **Resumos.** Rio Claro: IG-UNESP, 1993. p.62-63.

HOPPO, S. D.; ELLIOT, D. E.; REUTER, D. J. Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.39, p.857-872, 1999.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil.** 2003. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira.** Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004427.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Caderno de Diagnóstico: **Resíduos Sólidos da Atividade de mineração.** IPEA, Brasília, 2012. 41 p.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide.** Athens, Micro-Macro Publishing Inc. 1991. 213 p.

KAMPRATH, E. J.; NELSON, W. L.; FÜTS, J. W. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v. 20, p.463-466, 1956.

KINRAID, T. B. **Identity of the rhizotoxic aluminum species.** Plant Soil, The Hague, v.134, p.167-178, 1991.

KLIEMANN, H. J.; MALAVOLTA, E. Disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. V. Avaliação do estado nutricional de enxofre nas plantas. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, Goiânia, v. 24, p.17-35, 1994.

KORENTAJER, L.; BYRNES, H.; HELLUMS, D. T. The effect of liming and leaching on the sulfur-supplying capacity of soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.47, p.525-530, 1983.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição: uma revisão**. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

LEITE, U. T., AQUINO, B. F; ROCHA, R. N. C.; SILVA, J. Níveis críticos foliares de Boro, Cobre, Manganês e Zinco em milho. **Biosc. J.** Uberlândia, v.19, p.115-125, 2003.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. p.3-43.

LEONARDOS, O. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement in the use of conventional soluble fertilizer? In: **International Seminar on Laterites**. Proceedings. 1995. p.479- 494.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, L., eds. **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.

LOPES, A. S.; COELHO, J. G. Micronutrientes: critérios de diagnose para o solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C. M.; LANTAMAN, A. F. (Ed.) **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA - IAPAR - SBCS, 1988. p.133-178.

LOPES, C. F.; TAMANINI, C. R.; MONTE SERRAT, B.; LIMA, M. R. **Acidez do solo e calagem**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, 2002. (Folder).

MACHADO, A. F; LUCENA, G. N; CARNEIRO, J. S. S; NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R.; NIKKEL, M.; LIMA, S.O. **Aproveitamento de rejeito de mineração na blendagem de calcário comercial para correção do solo.** Amazon Soil – I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental, 2014. p.17-27.

MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M. L. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In: BULL, L. T.; ROsoleM, C. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação.** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1989. p.227-308.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press Inc., 1986. 674 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.) **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5 Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-168.

MEERT, L. MICHALOVICZ, L.; KÖLLN, O.; RIBAS, C.; ORTOLAN, F. Produtividade e rentabilidade da soja cultivada com fontes alternativas de nutrientes em Guarapuava, PR. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.4, p.3371-3374, 2009.

MENDES, J. C.; PETRI, S. **Geologia do Brasil.** Instituto Nacional do Livro, Rio de Janeiro, 1971.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; MEDEIROS, R. A. Rochas geradoras e rochasreservatório da Bacia do Paraná, faixa de afloramentos, Estado do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, p.135-162, 2007.

NASCIMENTO, C. W. A.; LEITE, P. V. V.; NASCIMENTO R. S. M. P.; MELO, E. C. C. **Influência da calagem no fracionamento e na disponibilidade de manganês em solos de Pernambuco.** Agropecuária Técnica, v.26, p.22-28, 2005.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, E. L. de; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v.21, p.65-70, 1997.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas** – Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PAIS, I.; BENTON JONES, J. Jr. **The handbook of trace elements.** St. Lucie Press, Boca Raton, Florida. 1997. 223 p.

PEREIRA JR., S. S. **Desenvolvimento de argamassa contendo resíduos arenosos de mineração e estudos de suas propriedades visando sua utilização.** CDTN: Dissertação de mestrado. 2011.

PÔRTO, D. R. Q.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de macronutrientes pela cebola 'Optima' estabelecida por semeadura direta. **Horticultura Brasileira.** v.24, p.470-475, 2006.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v.16, p.245-260,1985.

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

RAIJ, B. van; CAMARGO, A. P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N. M **Alumínio trocável e saturação de bases como critérios para recomendação de calagem.** Bragantia, Campinas, v.42, p.149-156,1983.

RAYMUNDO, V.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; BREGONCI, I. S.; LIMA, J. S. S.; FONSECA, A. B. Resíduos de serragem de Mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.47-53, 2013.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant Analysis: an interpretation manual.** Melbourne, Inkata Press, 1988. 218 p.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza.** 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

ROCHA, I. T. M.; SILVA, A. V.; SOUZA, R. F.; FERREIRA, J. T. P. Uso de resíduos como fonte de nutrientes na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p.47-52, 2013.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.19, p.349-375, 2002.

RODRIGUES, L. F.; PINTO, L. R. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. **Revista Escola Minas**, v.65, p.377-384, 2012.

SANTOS, R. V.; SOUZA, P. A.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; OLIVEIRA, C. G.; ARAÚJO, L. M. **Shrimp U-P zircon dating and palynology of bentonitic layers from the permian irati formation, Paraná basin, Brasil.** Gondwana Research 9. 2006a. p.456-463.

SANTOS D. C.; ZANATTA Z. G. C. N.; SILVA C. R.; FERREIRA L. H. G.; PILLON C. N. Atividade microbiana de solo fertilizado com folhelho pirbetuminoso, margarolítico e fontes de fósforo. In: ENCONTRO DE INCIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRABA CLIMA TEMPERADO, 2006, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006b. p. 21-24.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F. Enxofre: **Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 6 p.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v.25, p.274-277, 1961.

SILVA, C. A.; VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.471-476, 1994.

SILVA, C. A.; VALE, F. R.; ANDERSON, S. J.; KOBAL, A.R. **Nitrogen and sulfur mineralization in brazilian soils under influence of liming and phosphorus**. Pesquisa Agropecuária Bras. v.34, p.1679-1689, 1999.

SILVA, J. C. C. **Calagem**: como fazer para melhorar a fertilidade da terra e aumentar seus lucros Curitiba: EMATER-PR, 1994.

SILVA, J. O. **Perfil do calcário** (Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM - Ministério de Minas e Energia – MME). Relatório Técnico nº 38 do Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia – Projeto ESTAL. 2009. 56 p.

SILVA, P. A.; RIGATO, L. I.; JALES, L de. L.; POLESSA, M. F.; SATHER, M.; BERGER NETO, R.; PASSOS, J. L.; SOUZA, C. M de; SANTOS, J. N. B dos; AMARAL, J. A. T do. **Estudo Mineral de uma super calagem no milho**. CCA-UFES/Fitotecnia. Alto universitário, Alegre, ES. 2005.

SMITH, T. J.; SANCHEZ, P. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.44, p.500-505, 1980.

SOUZA, M. H. O. **Caracterização das rochas sedimentares da Formação Iratí e seus produtos intempéricos para utilização como aditivo.** Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, campus de Rio Claro, 1999. 121 p.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. In: **Solos do Rio Grande do Sul.** 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008, 222 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre-RS: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995, 174 p.

TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil. **Revista Brasileira de Criminalística**, v.1, p.31-38, 2011.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortalícias. In: **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 1997. p.157-185.

TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. **Calagem e adubação da cebola (Allium cepa L.).** Instituto Agronômico de Capinas – IAC, 2014, 35p.

UHART, S. A.; ANDRADE, F. H. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, v.35, p.1376-1383, 1995.

VALADARES, J. M. A. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. **Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe.** Bragantia, v.33, p.147-152, 1974.

VIDIGAL, S. M.; PEREIRA, P. R. G.; PACHECO, D. D. **Nutrição mineral e adubação da cebola.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.23, p.36-50, 2002.

WILSON J. R., C.; SLATON, N.; NORMAN, R.; MILLER, D. **Rice production handbook**. Arkansas, Cooperative Extension Service University of Arkansas, 2006. 126 p.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; SANTOS NETO, E. V.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. **Análise da Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro, 1986 (Relatório interno PETROBRÁS-DEPEX/CENPES).

## **Apêndices**

Apêndice A - pH em água após 28 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> de solo)				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
pH (água – 1:1) - 28 dias de incubação					
Calcário	5,26 Ae	5,68 Ad	6,51 Ac	6,93 Ab	7,26 Aa
1 <sup>a</sup> haste	5,26 Ad	5,39 Bcd	5,62 Bc	6,30 Bb	6,62 Ba
2 <sup>a</sup> haste	5,26 Ad	5,51 ABcd	5,64 Bc	6,10 Bb	6,56 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice B - Teores de Ca e Mg do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> de solo)				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	1,22 Ad	1,76 Ac	2,06 Ac	2,98 Ab	3,67 Aa
1 <sup>a</sup> haste	1,22 Ad	1,62 Ac	1,78 Abc	2,09 Bb	3,11 Ba
2 <sup>a</sup> haste	1,22 Ad	1,47 Acd	1,84 Abc	2,16 Bb	3,04 Ba
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	0,87 Ae	1,66 Ad	2,61 Ac	3,25 Ab	3,90 Aa
1 <sup>a</sup> haste	0,87 Ad	1,39 Ac	1,56 Bc	2,38 Bb	2,92 Ba
2 <sup>a</sup> haste	0,87 Ae	1,47 Ad	1,83 Bc	2,31 Bb	3,13 Ba

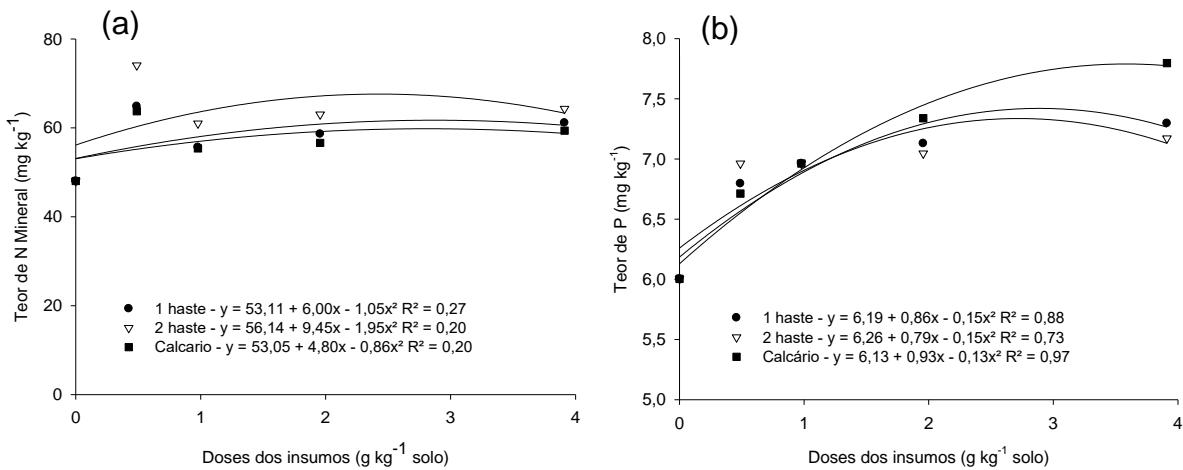
\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice C - Teor de S do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.

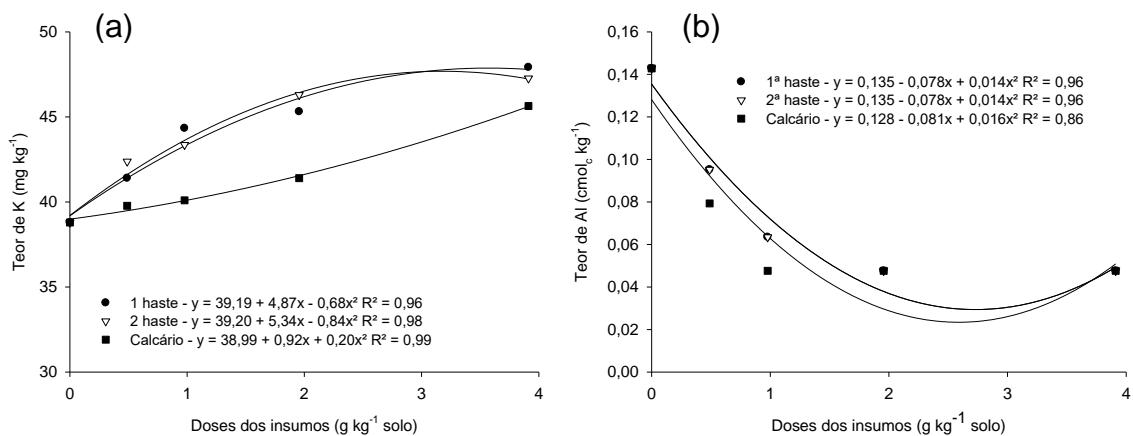
Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> de solo)				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
S (mg kg <sup>-1</sup> ) – 120 dias de incubação					
Calcário	10,55 Ac	15,21 ABb	16,29 Bb	20,34 Ba	22,63 Ba
1 <sup>a</sup> haste	10,55 Ab	13,01 Bb	14,07 Bb	21,26 Ba	23,79 Ba
2 <sup>a</sup> haste	10,55 Ae	16,87 Ad	20,44 Ac	25,89 Ab	38,28 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice D - Teor de N mineral (a) e P do solo (b) após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.



Apêndice E - Teor de K (a) e Al (b) do solo após 120 dias de incubação em função das doses dos insumos aplicadas.



Apêndice F - Teores de Ca e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	3,78 Ad	5,35 Ac	5,73 Ab	6,71 Aa	7,32 Aa
1 <sup>a</sup> haste	3,78 Ac	5,51 Ab	5,80 Ab	6,71 Aa	7,27 Aa
2 <sup>a</sup> haste	3,78 Ad	5,16 Ac	5,53 Abc	6,00 Bb	7,30 Aa
Acúmulo de Ca (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	17,86 Ab	49,34 Aa	55,06 Aa	58,15 Aa	58,46 Aa
1 <sup>a</sup> haste	17,86 Ac	46,44 Ab	54,77 Aab	62,61 Aa	61,09 Aa
2 <sup>a</sup> haste	17,86 Ac	46,67 Ab	54,11 Aab	58,07 Aa	61,82 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice G - Teores de Mg e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	3,08 Ad	5,43 Ac	6,27 Ab	6,87 Ab	7,78 Aa
1 <sup>a</sup> haste	3,08 Ad	4,68 Bc	5,41 Bb	5,99 Bb	6,89 Ba
2 <sup>a</sup> haste	3,08 Ad	4,56 Bc	5,40 Bb	5,99 Bb	6,95 Ba
Acúmulo de Mg (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	14,54 Ab	50,27 Aa	60,43 Aa	59,69 Aa	62,32 Aa
1 <sup>a</sup> haste	14,54 Ac	39,53 Ab	51,12 Aab	56,32 Aa	57,94 Aa
2 <sup>a</sup> haste	14,54 Ac	41,19 Ab	52,78 Aab	57,78 Aa	58,75 Aa

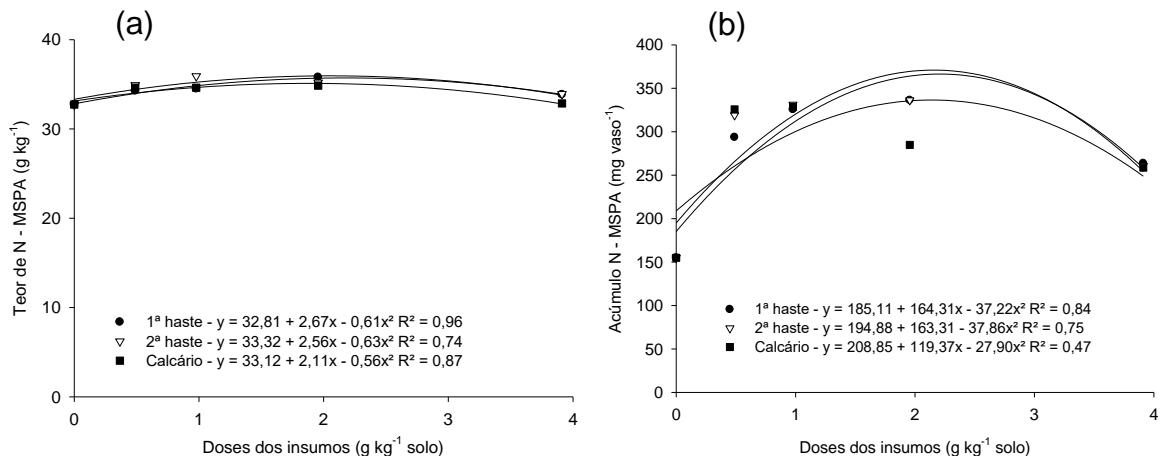
\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice H - Teores de S e seu acúmulo na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas

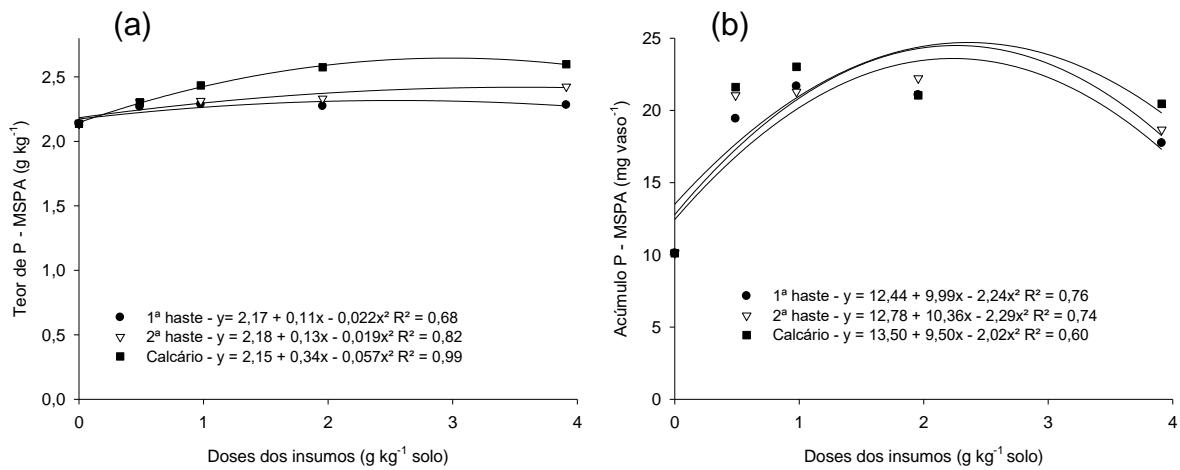
Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )					
Calcário	2,11 Ab	2,25 Aab	2,34 Aa	2,31 Aab	2,32 Aa
1 <sup>a</sup> haste	2,11 Ab	2,28 Aab	2,28 Aab	2,31 Aab	2,37 Aa
2 <sup>a</sup> haste	2,11 Ab	2,36 Aa	2,39 Aa	2,43 Aa	2,40 Aa
Acúmulo de S (mg vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	10,05 Ab	20,77 Aa	22,56 Aa	20,07 Aa	18,55 Aa
1 <sup>a</sup> haste	10,05 Ab	19,37 Aa	21,52 Aa	21,61 Aa	19,93 Aa
2 <sup>a</sup> haste	10,05 Ab	21,34 Aa	23,42 Aa	23,43 Aa	20,36 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

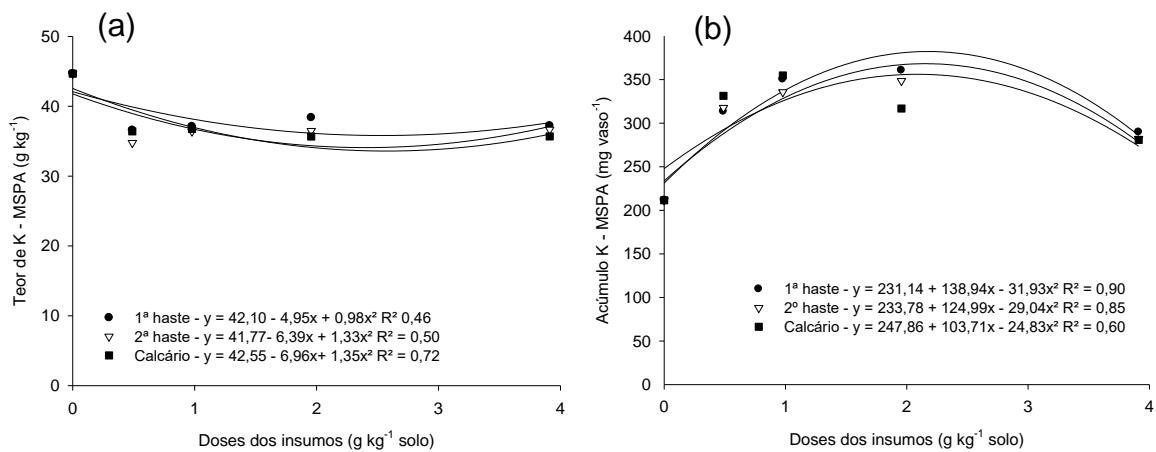
Apêndice I - Teores de N (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.



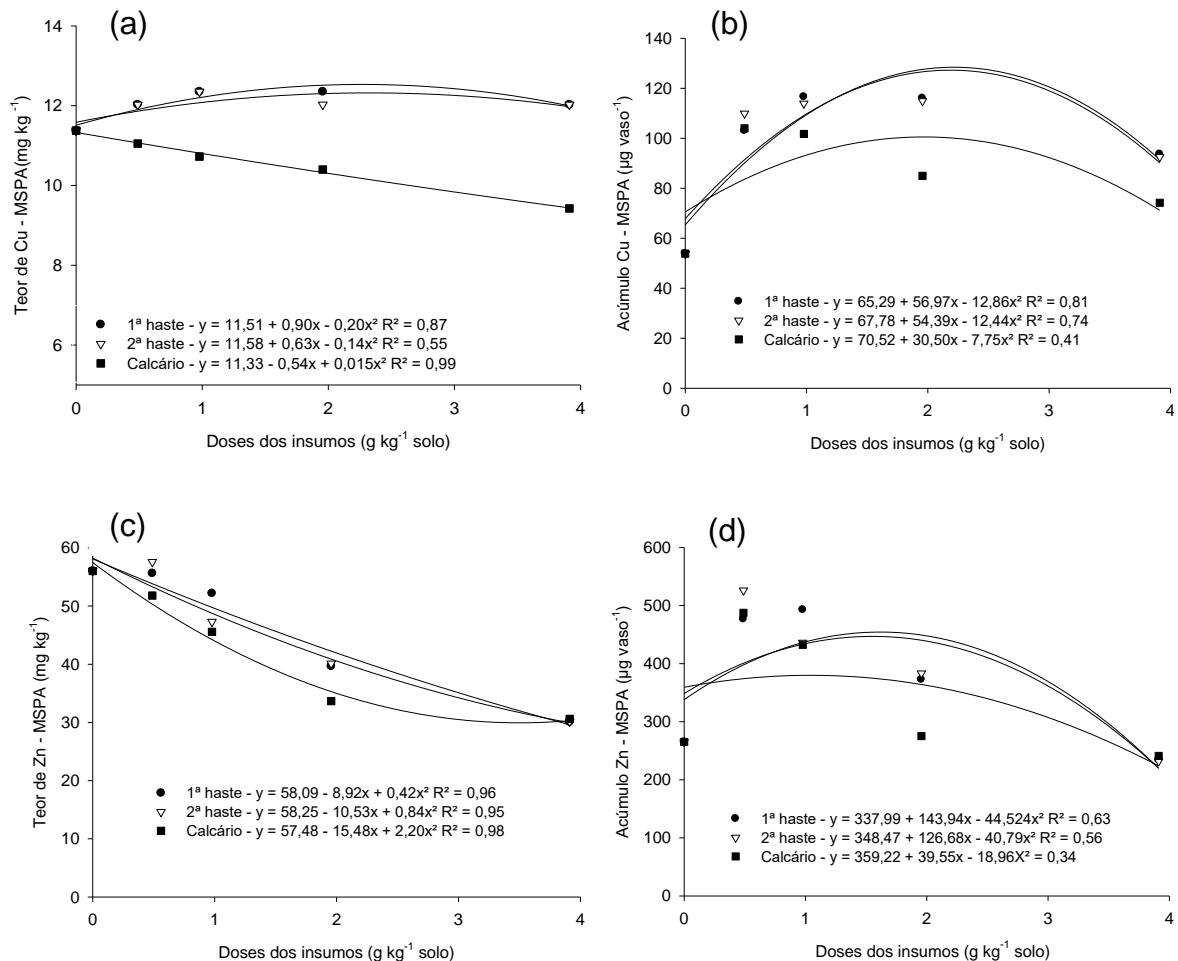
Apêndice J - Teores de P (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.



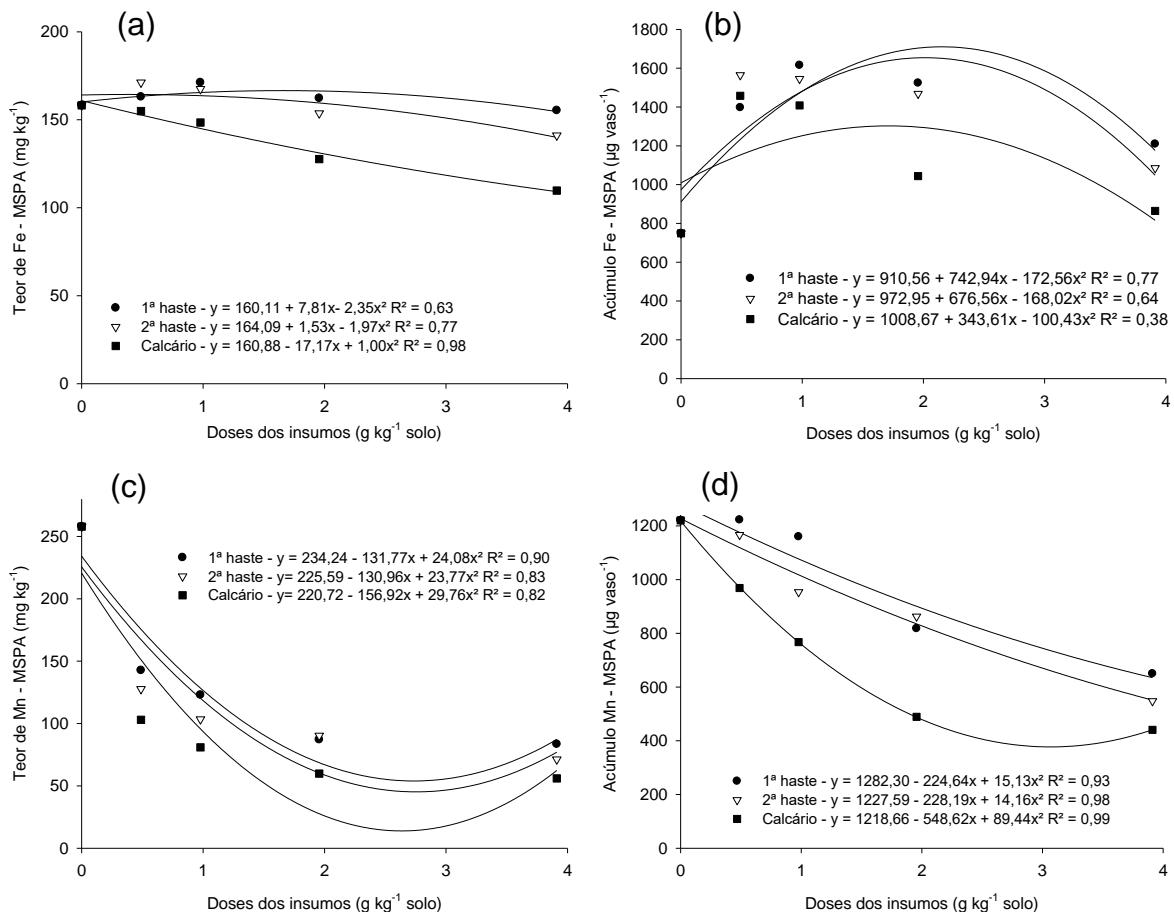
Apêndice K - Teores de K (a) e seu acúmulo (b) na parte aérea do milho em função das doses dos insumos aplicadas.



Apêndice L - Teores de Cu (a) e Zn (c) na parte aérea do milho e seus acúmulos (b-d) em função das doses dos insumos aplicadas.



Apêndice M - Teores de Fe (a) e Mn (c) na parte aérea do milho (a) e seus acúmulos (b-d) em função das doses dos insumos aplicadas.



Apêndice N - Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das doses dos insumos aplicados.

Insumo	Dose (g kg <sup>-1</sup> )				
	0	0,489	0,978	1,956	3,912
MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )					
Calcário	4,73 Ab	9,24 Aa	9,62 Aa	8,67 Aa	8,01 Aa
1 <sup>a</sup> haste	4,73 Ab	8,44 Aa	9,44 Aa	9,36 Aa	8,39 Aa
2 <sup>a</sup> haste	4,73 Ab	9,04 Aa	9,77 Aa	9,66 Aa	8,46 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice O - Teores de Ca do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )					
Planossolo	1,64 Aa	2,01 Ba	2,01 Ba	2,13 Ba	2,18 Ba
Argissolo	1,88 Ad	3,04 Ac	3,66 Ab	4,39 Aa	4,71 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice P - Teores de Mg do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )					
Planossolo	0,65 Ab	1,13 Ba	1,46 Ba	1,36 Ba	1,26 Ba
Argissolo	0,88 Ab	2,48 Aa	2,87 Aa	2,46 Aa	2,74 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice Q - Teores de S do solo em função dos insumos aplicados em duas classes de solo

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
S (mg kg <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	9,27 Ad	23,11 Aab	14,14 Acd	19,79 Abc	28,67 Aa
Argissolo	13,27 Ab	16,27 Bb	12,02 Ab	13,16 Bb	31,89 Aa
S (mg kg <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	6,50 Bc	14,58 Ab	12,12 Abc	12,53 Ab	21,53 Aa
Argissolo	10,84 Ab	15,14 Ab	10,02 Ab	10,48 Ab	26,21 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice R - Teores de Ca e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	69,10 Aa	70,88 Aa	69,48 Aa	75,22 Aa	75,81 Aa
Argissolo	72,41 Aa	75,63 Aa	74,55 Aa	79,08 Aa	79,58 Aa
Acúmulo de Ca (mg planta <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	167,10 Aa	172,44 Aa	166,93 Aa	170,82 Aa	184,32 Aa
Argissolo	133,18 Bab	148,52 Ba	119,51 Bb	131,71 Bab	131,92 Bab
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	30,55 Aa	31,45 Aa	28,86 Aa	28,34 Aa	29,03 Aa
Argissolo	27,04 Aa	26,55 Aa	30,23 Aa	28,68 Aa	29,31 Aa
Acúmulo de Ca (mg planta <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	260,00 Aa	307,10 Aa	238,18 Aa	244,30 Aa	291,32 Aa
Argissolo	186,87 Ba	205,00 Ba	232,13 Aa	207,63 Aa	232,65 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice S - Teores de Mg e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	11,59 Aa	15,79 Aa	15,67 Aa	13,42 Aa	13,08 Aa
Argissolo	14,76 Aa	17,30 Aa	16,12 Aa	14,55 Aa	14,57 Aa
Acúmulo de Mg (mg planta <sup>-1</sup> ) – 49 DAT					
Planossolo	28,10 Aa	38,43 Aa	37,57 Aa	30,29 Aa	32,03 Aa
Argissolo	27,16 Aa	34,04 Aa	26,00 Ba	24,22 Aa	24,17 Aa
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	8,10 Aa	8,78 Aa	8,60 Ba	7,35 Aa	7,34 Aa
Argissolo	8,34 Ab	9,30 Aab	10,53 Aa	8,29 Ab	7,88 Ab
Acúmulo de Mg (mg planta <sup>-1</sup> ) – 77 DAT					
Planossolo	68,81 Aa	86,30 Aa	70,97 Aa	63,40 Aa	73,20 Aa
Argissolo	57,51 Aa	71,84 Aa	80,83 Aa	59,96 Aa	62,49 Aa

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice T - Teores de S e seu acúmulo na fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Teor de S ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	4,53 Aa	5,12 Aa	4,93 Aa	4,85 Aa	4,89 Ba
Argissolo	3,44 Bc	5,16 Ab	4,99 Ab	4,41 Ab	6,56 Aa
Acúmulo de S ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	10,98 Aa	12,48 Aa	11,83 Aa	11,03 Aa	11,96 Aa
Argissolo	6,34 Bc	10,14 Bab	7,99 Bbc	7,31 Bc	10,86 Aa
Teor de S ( $\text{g kg}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	3,32 Ab	5,39 Aa	4,67 Aa	4,69 Aa	5,55 Aa
Argissolo	2,83 Ac	4,68 Ab	3,64 Bbc	3,89 Bbc	6,07 Aa
Acúmulo de S ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	27,95 Ac	52,85 Aa	38,56 Ab	40,36 Ab	55,08 Aa
Argissolo	19,59 Bc	35,97 Bb	27,73 Bbc	27,96 Bbc	48,19 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice U – Produção de fitomassa da cebola em função dos insumos aplicados em duas classes de solo – dois tempos avaliados.

Solo	Tratamentos				
	Testemunha	Subproduto	Calcário	Carbonatos	Carbonatos + Gesso
Fitomassa ( $\text{g planta}^{-1}$ ) – 49 DAT					
Planossolo	2,42 Aa	2,43 Aa	2,40 Aa	2,27 Aa	2,43 Aa
Argissolo	1,84 Bab	1,97 Ba	1,60 Bb	1,67 Bb	1,66 Bb
Fitomassa ( $\text{g planta}^{-1}$ ) – 77 DAT					
Planossolo	8,50 Aa	9,83 Aa	8,25 Aa	8,60 Aa	10,15 Aa
Argissolo	6,91 Aa	7,73 Ba	7,65 Aa	7,20 Aa	7,94 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apêndice V - Unidades experimentais do Estudo I - Experimento de incubação com Argissolo Amarelo eutrófico.



Apêndice W - Unidades experimentais do Estudo II - Avaliação agronômica de um subproduto na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico



Apêndice X - Estudo II - Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico. 0,489; 0,978; 1,956; 3,912 g kg<sup>-1</sup> equivalente a 0,5; 1; 2 e 4 vezes o índice SMP para pH 6,0, respectivamente.



Apêndice Y - Estudo II - Avaliação agronômica de subprodutos na cultura do milho após a incubação com um Argissolo Amarelo eutrófico.  $0,978 \text{ g kg}^{-1}$  equivalente a 1 x SMP.



Apêndice Z - Estudo III - Produção das mudas de cebola em bandejas tipo floating. Estágio referente ao momento do transplante.



Apêndice AA - Unidades experimentais do Estudo III - Avaliação dos teores de enxofre de um subproduto em duas classes de solo com cultura da cebola.



Apêndice BB - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Planossolo - 49 DAT. 11 – Testemunha; 21 – Subproduto; 31 – Calcário; 41 – Carbonatos; 51 - Carbonatos + gesso.



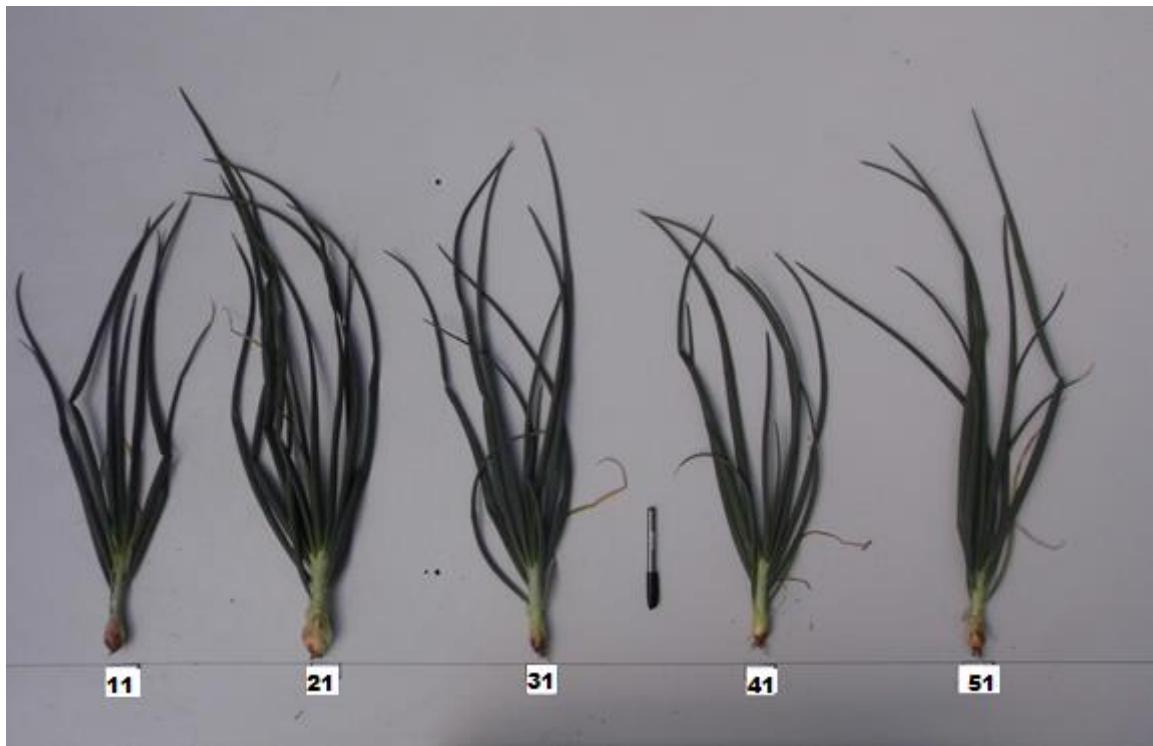
Apêndice CC - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Argissolo – 49 DAT. 11 – Testemunha; 21 – Subproduto; 31 – Calcário; 41 – Carbonatos; 51 - Carbonatos + gesso.



Apêndice DD - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Planossolo. 77 DAT. 11 – Testemunha; 21 – Subproduto; 31 – Calcário; 41 – Carbonatos; 51 - Carbonatos + gesso.



Apêndice EE - Estudo III – Resposta das plantas de cebola a diferentes insumos na classe Argissolo. 77 DAT. 11 – Testemunha; 21 – Subproduto; 31 – Calcário; 41 – Carbonatos; 51 - Carbonatos + gesso.



## Apêndice FF - pH em água do solo em quatro amostragens (Estudo I)

tratamento	09/dez	16/dez	20/jan	13/abr
<b>t101</b>	5,41	5,29	5,21	5,26
<b>t102</b>	5,19	5,17	5,19	5,28
<b>t103</b>	5,17	5,1	5,17	5,12
<b>média T10</b>	5,26	5,19	5,19	5,22
<b>t20,51</b>	5,42	5,41	5,43	5,50
<b>t20,52</b>	5,36	5,39	5,30	5,34
<b>t20,53</b>	5,38	5,40	5,42	5,39
<b>média T20,5</b>	5,39	5,40	5,38	5,41
<b>t211</b>	5,55	5,66	5,59	5,64
<b>t212</b>	5,64	5,65	5,78	5,75
<b>t213</b>	5,66	5,68	5,81	5,79
<b>média T21</b>	5,62	5,66	5,73	5,73
<b>t221</b>	6,55	6,45	6,40	6,38
<b>t222</b>	6,18	6,32	6,43	6,43
<b>t223</b>	6,16	6,32	6,23	6,19
<b>média T22</b>	6,30	6,36	6,35	6,33
<b>t241</b>	6,61	6,73	6,72	6,65
<b>t242</b>	6,69	6,70	6,64	6,58
<b>t243</b>	6,56	6,63	6,70	6,72
<b>média T24</b>	6,62	6,69	6,69	6,65
<b>t30,51</b>	5,64	5,59	5,69	5,68
<b>t30,52</b>	5,45	5,52	5,48	5,46
<b>t30,53</b>	5,45	5,60	5,52	5,59
<b>média T30,5</b>	5,51	5,57	5,56	5,58
<b>t311</b>	5,37	5,62	5,70	5,62
<b>t312</b>	5,94	5,83	5,87	5,84
<b>t313</b>	5,62	5,76	5,71	5,80
<b>média T31</b>	5,64	5,74	5,76	5,75
<b>t321</b>	6,21	6,32	6,38	6,31
<b>t322</b>	6,01	6,09	6,05	6,12
<b>t323</b>	6,07	6,00	6,02	6,07
<b>média T32</b>	6,10	6,14	6,15	6,17
<b>t341</b>	6,48	6,50	6,54	6,61
<b>t342</b>	6,63	6,63	6,68	6,72
<b>t343</b>	6,56	6,51	6,57	6,54
<b>média T34</b>	6,56	6,55	6,60	6,62
<b>t40,51</b>	5,79	5,70	5,82	5,78
<b>t40,52</b>	5,69	5,80	5,74	5,81
<b>t40,53</b>	5,55	5,63	5,64	5,55
<b>média T40,5</b>	5,68	5,71	5,73	5,71
<b>t411</b>	6,53	6,58	6,49	6,52
<b>t412</b>	6,66	6,70	6,72	6,61
<b>t413</b>	6,33	6,30	6,36	6,46
<b>média T41</b>	6,51	6,53	6,52	6,53
<b>t421</b>	6,95	6,96	6,92	6,82
<b>t422</b>	6,93	7,09	6,92	6,96
<b>t423</b>	6,91	6,89	6,86	6,88
<b>média T42</b>	6,93	6,98	6,90	6,89
<b>t441</b>	7,28	7,37	7,34	7,28
<b>t442</b>	7,23	7,30	7,37	7,35
<b>t443</b>	7,28	7,36	7,27	7,34
<b>média T44</b>	7,26	7,34	7,33	7,32
<b>t501</b>	5,1	5,1	5,1	5,22
<b>t502</b>	5,1	5,1	5,1	5,21
<b>t503</b>	5,1	5,1	5,1	5,25
<b>média T50</b>	5,10	5,1	5,1	5,23

Apêndice GG – Teor de macronutrientes do solo e AI após o período de incubação  
(Estudo I)

tratamento	Teor NO <sub>3</sub> (mg/kg)	Teor NH <sub>4</sub> (mg/kg)	N MINERAL (mg/kg)	AI (cmolc/kg)	Ca (cmolc/kg)	Mg (cmolc/kg)	S (mg/kg)	K (mg/kg)	P (mg/kg)
	teor	teor	teor	teor	Teor	teor	teor	teor	teor
<b>t101</b>	35,37	17,49	36,41	0,10	1,26	1,11	10,94	39,12	6,00
<b>t102</b>	30,19	19,61	31,28	0,14	1,03	1,06	11,02	39,12	5,88
<b>t103</b>	29,67	19,38	30,75	0,14	1,12	0,95	10,88	40,10	6,38
<b>média t10</b>	31,74	18,83	30,57	0,13	1,14	1,04	10,95	39,45	6,09
<b>t20,51</b>	31,96	33,54	33,40	0,10	1,69	1,31	12,46	43,03	5,75
<b>t20,52</b>	25,38	37,48	26,93	0,10	1,45	1,51	13,01	41,08	7,13
<b>t20,53</b>	33,91	32,32	35,31	0,10	1,73	1,36	13,55	40,10	7,50
<b>média t20,5</b>	30,42	34,45	64,87	0,10	1,62	1,39	13,01	41,40	6,80
<b>t211</b>	25,90	24,36	27,12	0,10	1,69	1,51	14,15	43,03	7,50
<b>t212</b>	28,08	30,03	29,44	0,05	1,83	1,61	13,25	45,97	6,38
<b>t213</b>	31,23	27,33	32,52	0,05	1,83	1,56	14,81	44,01	7,00
<b>média t21</b>	28,40	27,24	55,64	0,06	1,78	1,56	14,07	44,34	6,96
<b>t221</b>	38,90	26,33	40,16	0,05	2,01	2,31	20,16	44,99	7,75
<b>t222</b>	33,75	20,25	34,85	0,05	2,34	2,41	22,41	47,92	7,25
<b>t223</b>	27,22	29,45	28,60	0,05	1,92	2,41	21,21	43,03	6,75
<b>média t22</b>	33,29	25,34	58,63	0,05	2,09	2,38	21,26	45,31	7,25
<b>t241</b>	25,47	37,22	27,01	0,05	3,28	3,02	23,73	48,90	7,13
<b>t242</b>	21,76	32,05	23,16	0,05	2,81	2,97	22,33	46,94	7,38
<b>t243</b>	26,69	40,23	28,29	0,05	3,23	2,76	25,31	47,92	7,38
<b>média t24</b>	24,64	36,50	61,14	0,05	3,11	2,92	23,79	47,92	7,30
<b>t30,51</b>	41,16	36,85	42,69	0,10	1,55	1,51	16,75	44,01	7,50
<b>t30,52</b>	39,50	30,81	40,87	0,10	1,50	1,46	18,64	42,05	6,75
<b>t30,53</b>	35,79	38,10	37,37	0,10	1,36	1,46	15,21	41,08	6,63
<b>média t30,5</b>	38,82	35,25	74,07	0,10	1,47	1,47	16,87	42,38	6,96
<b>t311</b>	26,26	27,83	27,56	0,10	1,83	1,71	21,15	44,01	6,88
<b>t312</b>	33,97	24,89	35,19	0,05	2,06	1,81	17,49	45,97	7,25
<b>t313</b>	35,41	34,64	36,90	0,05	1,64	1,96	22,67	40,10	6,75
<b>média t31</b>	31,88	29,12	61,00	0,06	1,84	1,83	20,44	43,36	6,96
<b>t321</b>	38,61	31,12	39,99	0,05	2,53	2,56	24,42	46,94	6,63
<b>t322</b>	25,38	30,84	26,76	0,05	1,92	2,16	28,91	44,01	6,75
<b>t323</b>	29,58	33,53	31,02	0,05	2,25	2,21	24,34	47,92	7,75
<b>média t32</b>	31,19	31,83	63,02	0,05	2,23	2,31	25,89	46,29	7,05
<b>t341</b>	21,48	43,36	23,18	0,05	3,00	3,02	36,47	49,88	7,00
<b>t342</b>	28,28	35,74	29,78	0,05	2,81	3,42	39,56	44,99	6,88
<b>t343</b>	30,82	33,19	32,25	0,05	3,14	2,97	38,80	46,94	7,63
<b>média t34</b>	26,86	37,43	64,29	0,05	2,98	3,13	38,28	47,27	7,17
<b>t40,51</b>	33,19	33,58	34,64	0,10	1,73	1,61	14,45	41,08	6,75
<b>t40,52</b>	30,77	34,77	32,23	0,05	1,97	1,86	15,90	39,12	6,25
<b>t40,53</b>	29,04	29,83	30,38	0,10	1,59	1,51	15,29	39,12	7,13
<b>média t40,5</b>	31,00	32,73	63,73	0,08	1,76	1,66	15,21	39,77	6,71
<b>t411</b>	26,70	28,69	28,01	0,05	2,20	2,86	17,12	40,10	6,63
<b>t412</b>	22,64	31,62	24,04	0,05	1,92	2,36	15,97	38,14	6,88
<b>t413</b>	29,00	27,45	30,30	0,05	2,06	2,61	15,78	42,05	7,38
<b>média t41</b>	26,11	29,26	55,37	0,05	2,06	2,61	16,29	40,10	6,96
<b>t421</b>	27,72	32,08	29,12	0,05	3,23	3,52	19,47	42,05	7,63
<b>t422</b>	25,63	28,00	26,93	0,05	2,76	3,22	20,84	40,10	7,50
<b>t423</b>	21,70	34,71	23,17	0,05	2,95	3,02	20,69	42,05	6,88
<b>média t42</b>	25,02	31,60	56,61	0,05	2,98	3,25	20,34	41,40	7,34
<b>t441</b>	18,61	39,21	20,19	0,05	3,75	3,92	22,59	44,01	7,75
<b>t442</b>	21,69	40,22	23,30	0,05	3,61	3,92	22,41	47,92	7,88
<b>t443</b>	20,51	37,87	22,06	0,05	3,65	3,87	22,90	44,99	7,75
<b>média t44</b>	20,27	39,10	59,37	0,05	3,67	3,90	22,63	45,64	7,80
<b>t501</b>	25,70	20,96	26,82	0,14	1,22	0,85	10,50	37,16	5,75
<b>t502</b>	30,26	22,69	31,42	0,14	1,31	0,80	11,71	39,12	5,38
<b>t503</b>	24,80	19,68	25,89	0,14	1,12	0,95	9,43	40,10	6,88
<b>media t50</b>	26,92	21,11	48,03	0,14	1,22	0,87	10,55	38,79	6,00

## Apêndice HH – Teor de macronutrientes na parte aérea do milho (Estudo II)

tratamento	Teor S (g/kg)	Teor P (g/kg)	Teor K (g/kg)	Teor Ca (g/kg)	Teor Mg (g/kg)	N total (g/kg)
	teor	teor	teor	teor	teor	Teor
<b>t101</b>	1,86	1,474	36,85	4,22	4,04	30,21
<b>t102</b>	1,98	1,598	32,76	4,29	4,04	28,97
<b>t103</b>	2,08	1,562	32,76	4,58	3,84	31,27
<b>média t10</b>	1,97	1,545	34,12	4,36	3,97	30,15
<b>t20,51</b>	2,35	2,113	36,03	5,35	4,65	35,68
<b>t20,52</b>	2,37	2,308	37,94	5,56	4,78	33,03
<b>t20,53</b>	2,12	2,379	35,76	5,63	4,60	34,09
<b>média t20,5</b>	2,28	2,267	36,58	5,51	4,68	34,27
<b>t211</b>	2,24	2,326	38,76	6,05	5,49	32,15
<b>t212</b>	2,35	2,344	36,03	5,77	5,27	35,68
<b>t213</b>	2,26	2,219	36,58	5,56	5,48	35,68
<b>média t21</b>	2,28	2,296	37,13	5,80	5,41	34,50
<b>t221</b>	2,31	2,166	35,49	6,48	5,87	32,86
<b>t222</b>	2,31	2,308	38,49	7,04	5,54	37,10
<b>t223</b>	2,31	2,255	41,22	6,62	6,57	37,45
<b>média t22</b>	2,31	2,243	38,40	6,71	3,00	35,80
<b>t241</b>	2,39	2,308	37,67	7,32	6,65	34,45
<b>t242</b>	2,35	2,308	35,49	7,32	7,55	35,86
<b>t243</b>	2,39	2,219	38,49	7,18	6,47	31,27
<b>média t24</b>	2,37	2,279	37,22	7,27	3,44	33,86
<b>t30,51</b>	2,39	2,344	34,67	5,28	4,24	37,27
<b>t30,52</b>	2,23	2,255	37,13	5,00	4,85	34,09
<b>t30,53</b>	2,47	2,308	32,48	5,21	4,58	33,39
<b>média t30,5</b>	2,36	2,302	34,76	5,16	4,56	34,92
<b>t311</b>	2,30	2,219	35,76	5,35	5,29	35,68
<b>t312</b>	2,39	2,344	38,22	5,70	5,40	38,51
<b>t313</b>	2,49	2,361	35,21	5,56	5,50	33,56
<b>média t31</b>	2,39	2,308	36,40	5,54	5,40	35,92
<b>t321</b>	2,39	2,290	37,94	6,05	6,01	35,68
<b>t322</b>	2,48	2,326	35,21	5,77	6,20	33,74
<b>t323</b>	2,41	2,361	36,31	6,19	5,76	36,21
<b>média t32</b>	2,43	2,326	36,49	6,01	3,00	35,21
<b>t341</b>	2,48	2,468	37,13	7,74	6,88	31,97
<b>t342</b>	2,37	2,361	35,21	7,39	6,82	34,09
<b>t343</b>	2,36	2,450	37,67	6,76	7,13	35,68
<b>média t34</b>	2,40	2,427	36,67	7,30	3,47	33,92
<b>t40,51</b>	2,28	2,255	34,12	5,14	5,60	36,74
<b>t40,52</b>	2,20	2,273	35,76	5,42	5,31	33,39
<b>t40,53</b>	2,26	2,361	35,76	5,49	5,39	33,74
<b>média t40,5</b>	2,25	2,296	35,21	5,35	5,43	34,62
<b>t411</b>	2,41	2,503	38,49	5,70	6,10	33,56
<b>t412</b>	2,26	2,255	37,67	5,77	6,20	36,21
<b>t413</b>	2,36	2,521	36,03	5,70	6,51	34,09
<b>média t41</b>	2,34	2,427	37,40	5,73	3,13	34,62
<b>t421</b>	2,28	2,575	36,85	6,90	6,92	37,10
<b>t422</b>	2,27	2,681	38,22	6,90	6,63	33,92
<b>t423</b>	2,39	2,468	41,22	6,34	7,05	33,56
<b>média t42</b>	2,31	2,575	38,76	6,71	3,43	34,86
<b>t441</b>	2,26	2,521	34,12	7,04	7,71	33,74
<b>t442</b>	2,39	2,770	35,76	7,53	7,57	32,86
<b>t443</b>	2,32	2,503	37,13	7,39	8,06	31,97
<b>média t44</b>	2,32	2,598	35,67	7,32	3,89	32,86
<b>t501</b>	2,12	1,953	43,95	3,80	3,00	34,27
<b>t502</b>	1,99	2,131	43,40	3,87	3,12	33,39
<b>t503</b>	2,23	2,326	46,68	3,66	3,11	30,56
<b>média t50</b>	2,11	0,214	4,47	0,38	0,31	3,27

Apêndice II – Teor de micronutrientes e massa seca na parte aérea do milho (Estudo II)

tratamento	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	MSPA (g/vaso)
	teor	teor	teor	teor	
<b>t101</b>	9,75	145,16	296,06	64,26	2,41
<b>t102</b>	9,75	150,04	270,32	67,30	2,41
<b>t103</b>	10,72	178,10	315,37	69,17	3,75
<b>média t10</b>	10,07	157,77	293,92	66,91	2,86
<b>t20,51</b>	11,70	153,70	135,16	54,68	9,10
<b>t20,52</b>	11,70	175,66	144,81	57,72	9,24
<b>t20,53</b>	12,67	159,80	148,03	54,45	6,97
<b>média t20,5</b>	12,02	163,05	142,67	55,62	8,57
<b>t211</b>	11,70	179,32	128,08	55,62	10,02
<b>t212</b>	12,67	164,68	121,00	51,64	9,14
<b>t213</b>	12,67	169,56	119,71	49,31	9,15
<b>média t21</b>	12,35	171,19	122,93	52,19	9,44
<b>t221</b>	11,70	145,16	86,24	35,52	10,11
<b>t222</b>	13,65	182,98	94,61	41,36	8,15
<b>t223</b>	11,70	158,58	80,45	42,06	9,82
<b>média t22</b>	12,35	162,24	87,10	39,65	9,39
<b>t241</b>	11,70	157,36	65,65	30,15	8,90
<b>t242</b>	12,67	152,48	102,33	29,91	8,62
<b>t243</b>	11,70	156,14	82,38	30,15	7,66
<b>média t24</b>	12,02	155,33	83,46	30,07	7,79
<b>t30,51</b>	11,70	159,80	128,72	53,98	9,09
<b>t30,52</b>	13,65	181,76	127,44	63,33	9,00
<b>t30,53</b>	10,72	172,00	126,79	55,38	9,03
<b>média t30,5</b>	12,02	171,19	127,65	57,56	9,14
<b>t311</b>	11,70	153,70	110,06	45,10	9,11
<b>t312</b>	12,67	179,32	94,61	45,57	9,29
<b>t313</b>	12,67	169,56	105,55	51,18	10,90
<b>média t31</b>	12,35	167,53	103,41	47,28	9,22
<b>t321</b>	11,70	179,32	102,33	41,36	9,30
<b>t322</b>	12,67	134,18	84,31	35,05	9,31
<b>t323</b>	11,70	147,60	84,31	43,93	10,36
<b>média t32</b>	12,02	153,70	90,32	40,12	9,55
<b>t341</b>	11,70	156,14	64,36	34,82	8,82
<b>t342</b>	11,70	128,08	77,23	28,28	8,27
<b>t343</b>	12,67	139,06	72,08	27,34	8,29
<b>média t34</b>	12,02	141,10	71,23	30,15	7,69
<b>t40,51</b>	10,72	141,50	94,61	52,58	10,19
<b>t40,52</b>	10,72	152,48	100,40	53,75	9,24
<b>t40,53</b>	11,70	170,78	113,92	49,07	8,30
<b>média t40,5</b>	11,05	154,92	102,98	51,80	9,41
<b>t411</b>	11,70	153,70	86,89	44,63	9,25
<b>t412</b>	10,72	145,16	81,10	45,10	8,93
<b>t413</b>	9,75	146,38	74,66	46,97	10,68
<b>média t41</b>	10,72	148,41	80,88	45,57	9,49
<b>t421</b>	9,75	129,30	59,86	34,82	9,38
<b>t422</b>	11,70	119,54	56,64	33,18	7,69
<b>t423</b>	9,75	134,18	63,07	32,95	8,95
<b>média t42</b>	10,40	127,68	59,86	33,65	8,17
<b>t441</b>	8,77	108,57	54,06	33,65	8,99
<b>t442</b>	8,77	106,13	59,21	28,28	7,19
<b>t443</b>	10,72	114,67	54,71	29,91	7,84
<b>média t44</b>	9,42	109,79	55,99	30,61	7,87
<b>t501</b>	11,70	152,48	263,88	51,41	5,16
<b>t502</b>	11,70	162,24	251,01	60,29	4,08
<b>t503</b>	10,72	159,80	258,73	56,32	4,96
<b>média t50</b>	11,37	158,17	257,87	56,01	4,73

## Apêndice JJ - pH em água do solo em diferentes amostragens (Estudo III)

Tratamento	Solo	Repetição	pH 11 dias	pH 32 dias	pH 39 dias	pH 77 dias	pH médio
Testemunha	Planossolo	1	5.25	5.2	5.1	5.3	5.21
Testemunha	Planossolo	2	5.2	5.1	5.09	5.07	5.12
Testemunha	Planossolo	3	5.3	5.05	5.09	5.05	5.12
Subproduto	Planossolo	1	5.4	5.5	5.57	5.56	5.51
Subproduto	Planossolo	2	5.52	5.51	5.56	5.5	5.52
Subproduto	Planossolo	3	5.5	5.5	5.47	5.43	5.48
Calcário	Planossolo	1	5.44	5.62	5.31	5.72	5.52
Calcário	Planossolo	2	5.45	5.29	5.31	5.53	5.4
Calcário	Planossolo	3	5.42	5.5	5.35	5.4	5.42
Carbonatos	Planossolo	1	5.58	5.46	5.26	5.43	5.43
Carbonatos	Planossolo	2	5.48	5.44	5.44	6.16	5.63
Carbonatos	Planossolo	3	5.68	5.44	5.35	4.95	5.36
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	5.42	5.49	5.32	5.33	5.39
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	5.57	5.4	5.33	5.48	5.45
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	5.52	5.36	5.57	5.78	5.56
Testemunha	Argissolo	1	5.17	5.14	5.3	5.02	5.16
Testemunha	Argissolo	2	5.13	5.3	5,00	5.01	5.11
Testemunha	Argissolo	3	5.13	5.17	5,00	5.1	5.1
Subproduto	Argissolo	1	5.67	5.88	5.75	5.78	5.77
Subproduto	Argissolo	2	5.7	5.82	5.72	5.66	5.73
Subproduto	Argissolo	3	5.8	5.55	5.78	5.6	5.68
Calcário	Argissolo	1	6.1	5.59	6.1	5.95	5.94
Calcário	Argissolo	2	6.06	6.19	5.92	6.03	6.05
Calcário	Argissolo	3	5.97	6.18	5.84	5.94	5.98
Carbonatos	Argissolo	1	6.03	6.19	5.98	6.27	6.12
Carbonatos	Argissolo	2	6.09	5.93	6.13	6.01	6.04
Carbonatos	Argissolo	3	6.18	6.09	6.05	5.91	6.06
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	6.18	6.22	6.09	6.26	6.19
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	6.03	6.18	6,00	5.87	6.02
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	6.31	6.27	6.09	6.24	6.23

### Apêndice KK – Teor de macronutrientes do solo (Estudo III)

Tratamento	Solo	Repetição	S (mg kg <sup>-1</sup> ) 49 DAT	S (mg kg <sup>-1</sup> ) 77 DAT	Ca (cmolc kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmolc kg <sup>-1</sup> )	N mineral (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	Planossolo	1	7.62	6.83	1.54	0.64	27.94	92.03	19.95
Testemunha	Planossolo	2	9.08	6.14	1.59	0.74	17.65	107.21	22.44
Testemunha	Planossolo	3	11.11	6.52	1.80	0.56	22.17	107.21	19.95
Subproduto	Planossolo	1	24.41	17.65	2.40	1.08	27.93	151.80	24.94
Subproduto	Planossolo	2	23.52	11.51	1.82	1.03	22.29	136.62	22.28
Subproduto	Planossolo	3	21.41	14.58	1.82	1.29	30.18	151.80	25.02
Calcário	Planossolo	1	13.38	13.04	2.02	1.32	15.81	149.91	24.27
Calcário	Planossolo	2	10.54	14.12	2.00	1.51	24.95	153.70	26.60
Calcário	Planossolo	3	21.49	9.21	2.02	1.55	23.31	136.62	23.28
Carbonatos	Planossolo	1	16.38	11.51	2.01	1.39	22.65	151.80	26.60
Carbonatos	Planossolo	2	23.52	13.04	1.96	1.33	30.3	139.47	23.44
Carbonatos	Planossolo	3	19.46	13.04	2.41	1.35	21.06	149.91	23.77
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	31.54	19.18	2.35	1.47	37.62	161.29	23.11
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	30.08	23.17	2.24	1.15	30.92	141.37	24.11
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	24.41	22.25	1.94	1.15	22.65	142.31	28.76
Testemunha	Argissolo	1	14.27	12.28	1.86	0.70	20.52	56.93	11.64
Testemunha	Argissolo	2	14.43	10.28	1.77	0.66	25.21	59.77	11.14
Testemunha	Argissolo	3	11.11	9.97	2.00	0.68	31.71	61.67	9.98
Subproduto	Argissolo	1	15.33	16.11	2.97	2.59	32	61.67	10.47
Subproduto	Argissolo	2	18.41	14.58	3.00	2.40	32.7	57.87	14.63
Subproduto	Argissolo	3	15.08	14.73	3.15	2.45	28.66	58.82	10.14
Calcário	Argissolo	1	12.16	9.44	4.12	3.04	19.12	60.72	12.80
Calcário	Argissolo	2	12.00	10.89	3.24	2.75	21.2	56.93	10.31
Calcário	Argissolo	3	11.92	9.74	3.61	2.82	27.79	54.08	10.97
Carbonatos	Argissolo	1	12.24	11.97	4.51	2.23	25.46	60.72	13.80
Carbonatos	Argissolo	2	14.19	9.51	4.34	2.68	26.18	60.72	9.31
Carbonatos	Argissolo	3	13.06	9.97	4.32	2.46	29.32	56.93	14.96
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	43.79	30.77	4.96	2.96	23.13	66.41	14.13
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	50.27	30.15	4.32	2.93	27.93	58.82	12.64
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	40.62	38.67	4.85	2.32	22.04	63.57	13.30

Apêndice LL - Diâmetro médio transversal do bulbo e fitomassa da cebola – dois tempos avaliados (Estudo III)

Tratamento	Solo	Repetição	49 DAT		77 DAT	
			Fitomassa seca (g planta <sup>-1</sup> )	Diâmetro de bulbo (mm)	Fitomassa seca (g planta <sup>-1</sup> )	Diâmetro de bulbo (mm)
Testemunha	Planossolo	1	2.35	13.54	9.67	30.67
Testemunha	Planossolo	2	2.32	13.73	8.80	31.00
Testemunha	Planossolo	3	2.60	14.29	7.02	30.67
Subproduto	Planossolo	1	2.43	13.92	8.51	30.00
Subproduto	Planossolo	2	2.38	14.91	9.39	33.00
Subproduto	Planossolo	3	2.49	15.79	11.60	32.00
Calcário	Planossolo	1	2.55	15.95	8.37	33.33
Calcário	Planossolo	2	2.26	14.14	8.17	28.00
Calcário	Planossolo	3	2.39	14.68	8.23	27.67
Carbonatos	Planossolo	1	2.33	14.28	8.37	30.00
Carbonatos	Planossolo	2	2.10	14.10	8.96	26.67
Carbonatos	Planossolo	3	2.39	13.41	8.47	31.67
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	2.34	14.55	9.13	32.00
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	2.35	13.90	12.93	35.33
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	2.61	14.68	8.40	28.67
Testemunha	Argissolo	1	1.85	13.08	6.95	28.33
Testemunha	Argissolo	2	1.90	12.29	7.46	25.67
Testemunha	Argissolo	3	1.77	12.31	6.33	26.00
Subproduto	Argissolo	1	2.00	11.88	7.50	31.00
Subproduto	Argissolo	2	2.09	13.24	7.40	29.67
Subproduto	Argissolo	3	1.82	11.66	8.29	35.00
Calcário	Argissolo	1	1.51	10.28	7.10	24.33
Calcário	Argissolo	2	1.57	10.85	7.40	31.67
Calcário	Argissolo	3	1.73	11.40	8.45	29.00
Carbonatos	Argissolo	1	1.59	10.90	6.63	24.00
Carbonatos	Argissolo	2	1.66	11.20	7.43	25.67
Carbonatos	Argissolo	3	1.75	12.77	7.53	29.33
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	1.65	11.27	7.83	26.67
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	1.75	11.03	8.02	29.33
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	1.58	10.61	7.97	26.67

Apêndice MM – Teor de macronutrientes na fitomassa da cebola (49 DAT) – Estudo III

Tratamento	Solo	Repetição	Teor N (g kg <sup>-1</sup> )	Teor P (g kg <sup>-1</sup> )	Teor K (g kg <sup>-1</sup> )	Teor Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Teor S (g kg <sup>-1</sup> )	Teor Ca (g kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	Planossolo	1	30.38	2.28	37.46	8.9	4.50	73.30
Testemunha	Planossolo	2	32.15	2.45	38.54	13.77	4.61	69.10
Testemunha	Planossolo	3	33.39	2.54	41.24	12.09	4.49	64.89
Subproduto	Planossolo	1	29.68	2.32	36.12	14.9	4.87	70.14
Subproduto	Planossolo	2	31.62	1.94	39.35	16.47	4.87	73.58
Subproduto	Planossolo	3	26.50	2.21	38.81	16.00	5.63	68.91
Calcário	Planossolo	1	29.68	1.91	35.04	15.24	4.69	73.92
Calcário	Planossolo	2	28.09	2.04	36.39	15.93	4.86	69.38
Calcário	Planossolo	3	33.21	1.91	42.86	15.85	5.25	65.13
Carbonatos	Planossolo	1	31.62	2.36	42.59	10.8	4.61	75.46
Carbonatos	Planossolo	2	29.68	3.03	40.16	15.86	4.68	75.02
Carbonatos	Planossolo	3	33.56	2.60	44.20	13.59	5.25	75.18
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	28.09	3.55	35.85	15.53	4.58	74.70
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	28.26	3.42	36.66	7.64	4.49	76.63
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	29.68	3.32	41.51	16.06	5.61	76.10
Testemunha	Argissolo	1	37.10	3.58	35.04	14.63	3.45	66.41
Testemunha	Argissolo	2	33.92	3.44	30.73	15.21	3.47	76.12
Testemunha	Argissolo	3	34.09	3.69	33.42	14.43	3.41	74.70
Subproduto	Argissolo	1	34.80	4.50	36.66	19.13	5.11	71.95
Subproduto	Argissolo	2	34.80	4.87	35.85	16.15	4.99	74.89
Subproduto	Argissolo	3	33.21	5.03	34.23	16.61	5.38	80.05
Calcário	Argissolo	1	36.39	4.32	35.04	12.25	5.13	74.61
Calcário	Argissolo	2	36.92	4.34	37.73	18.3	5.25	73.59
Calcário	Argissolo	3	35.68	3.77	35.04	17.82	4.61	75.44
Carbonatos	Argissolo	1	34.80	4.13	32.07	13.79	4.81	78.28
Carbonatos	Argissolo	2	33.92	3.60	35.85	15.58	4.40	76.80
Carbonatos	Argissolo	3	31.44	3.59	32.88	14.28	4.01	82.15
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	36.74	4.35	40.16	11.89	6.14	81.06
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	38.51	4.17	43.12	15.75	6.34	78.06
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	38.33	4.32	39.62	16.08	7.20	79.61

## Apêndice NN – Teor de micronutrientes na fitomassa da cebola (49 DAT) – Estudo III

Tratamento	Solo	Repetição	Teor Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	Planossolo	1	4.75	118.14	487.70	45.98
Testemunha	Planossolo	2	4.46	163.54	576.83	39.20
Testemunha	Planossolo	3	4.55	97.92	528.28	39.60
Subproduto	Planossolo	1	5.24	156.16	807.32	48.97
Subproduto	Planossolo	2	6.92	119.11	637.81	85.54
Subproduto	Planossolo	3	5.55	105.78	872.93	123.95
Calcário	Planossolo	1	3.78	104.92	348.60	62.22
Calcário	Planossolo	2	7.35	119.86	364.48	52.14
Calcário	Planossolo	3	3.67	133.29	739.87	105.56
Carbonatos	Planossolo	1	4.33	155.74	580.44	89.32
Carbonatos	Planossolo	2	3.73	87.65	368.51	49.76
Carbonatos	Planossolo	3	4.28	103.33	521.39	56.89
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	3.89	106.94	418.24	78.85
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	3.61	128.53	208.82	75.20
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	3.26	117.26	306.43	61.38
Testemunha	Argissolo	1	5.92	139.83	254.69	119.20
Testemunha	Argissolo	2	7.24	131.69	448.48	134.33
Testemunha	Argissolo	3	5.92	86.86	426.97	101.64
Subproduto	Argissolo	1	5.30	195.75	95.12	57.86
Subproduto	Argissolo	2	5.22	130.32	91.99	85.23
Subproduto	Argissolo	3	5.64	125.81	79.75	45.14
Calcário	Argissolo	1	5.49	176.96	61.71	55.79
Calcário	Argissolo	2	5.98	124.34	84.55	53.24
Calcário	Argissolo	3	5.32	137.08	66.68	51.79
Carbonatos	Argissolo	1	4.73	158.28	52.44	27.59
Carbonatos	Argissolo	2	4.94	124.74	58.80	32.87
Carbonatos	Argissolo	3	4.30	113.44	42.73	36.04
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	4.94	83.66	53.34	39.42
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	6.54	142.11	78.34	52.40
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	4.50	194.21	55.69	60.85

Apêndice OO – Teor de macronutrientes na fitomassa da cebola (77 DAT) – Estudo III

Tratamento	Solo	Repetição	Teor S (g kg <sup>-1</sup> )	Teor N (g kg <sup>-1</sup> )	Teor P (g kg <sup>-1</sup> )	Teor K (g kg <sup>-1</sup> )	Teor Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Teor Mg (g kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	Planossolo	1	3.28	19.08	1.69	22.71	29.18	7.72
Testemunha	Planossolo	2	2.95	20.84	1.79	31.80	33.38	8.69
Testemunha	Planossolo	3	3.73	22.08	2.44	28.86	29.10	7.88
Subproduto	Planossolo	1	5.33	29.50	2.10	37.41	36.68	9.65
Subproduto	Planossolo	2	5.66	23.85	2.28	29.13	27.11	7.62
Subproduto	Planossolo	3	5.18	27.56	2.51	36.88	30.56	9.07
Calcário	Planossolo	1	4.27	22.08	3.02	33.94	28.08	8.84
Calcário	Planossolo	2	5.14	27.20	3.30	38.75	32.15	8.47
Calcário	Planossolo	3	4.61	25.61	3.69	38.48	26.34	8.48
Carbonatos	Planossolo	1	4.61	23.85	2.75	33.40	28.15	7.41
Carbonatos	Planossolo	2	4.72	24.73	3.16	34.47	32.20	7.94
Carbonatos	Planossolo	3	4.75	22.43	3.16	32.87	24.66	6.74
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	6.29	27.38	2.65	39.28	31.82	8.02
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	4.58	24.20	2.83	30.20	26.28	6.33
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	5.79	25.61	2.62	34.20	28.98	7.68
Testemunha	Argissolo	1	2.59	27.38	2.83	23.25	26.54	8.48
Testemunha	Argissolo	2	3.02	27.73	3.52	24.85	27.13	7.92
Testemunha	Argissolo	3	2.88	26.50	3.65	26.46	27.45	8.61
Subproduto	Argissolo	1	4.82	28.44	3.25	25.92	26.95	9.81
Subproduto	Argissolo	2	5.18	29.15	3.63	26.99	26.99	9.06
Subproduto	Argissolo	3	4.03	29.32	3.25	23.78	25.71	9.04
Calcário	Argissolo	1	3.71	28.44	3.43	24.32	28.22	9.81
Calcário	Argissolo	2	3.90	29.15	3.80	22.98	30.43	10.71
Calcário	Argissolo	3	3.31	28.97	3.69	23.25	32.05	11.08
Carbonatos	Argissolo	1	4.17	29.15	3.33	25.12	24.55	7.29
Carbonatos	Argissolo	2	4.10	27.38	3.52	25.65	31.63	8.72
Carbonatos	Argissolo	3	3.41	27.73	3.01	22.98	29.86	8.85
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	6.05	27.38	3.96	23.52	30.65	8.89
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	5.83	28.26	3.32	23.25	26.84	7.10
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	6.33	29.32	3.68	22.18	30.43	7.65

## Apêndice PP – Teor de micronutrientes na fitomassa da cebola (77 DAT) – Estudo III

Tratamento	Solo	Repetição	Teor Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	Planossolo	1	4.45	151.44	506.81	64.06
Testemunha	Planossolo	2	5.84	133.32	568.58	66.80
Testemunha	Planossolo	3	3.79	158.46	710.89	47.46
Subproduto	Planossolo	1	7.01	149.08	725.11	69.81
Subproduto	Planossolo	2	6.32	108.09	584.82	75.86
Subproduto	Planossolo	3	10.08	124.40	684.72	72.00
Calcário	Planossolo	1	9.76	81.50	512.32	68.58
Calcário	Planossolo	2	5.25	84.94	575.60	61.55
Calcário	Planossolo	3	6.89	145.50	576.25	77.52
Carbonatos	Planossolo	1	6.30	92.04	472.61	84.08
Carbonatos	Planossolo	2	7.26	82.74	618.05	82.80
Carbonatos	Planossolo	3	5.48	64.54	376.38	59.50
Carbonatos + gesso	Planossolo	1	7.36	112.88	268.38	70.34
Carbonatos + gesso	Planossolo	2	6.97	110.64	222.34	47.70
Carbonatos + gesso	Planossolo	3	6.94	83.80	276.30	50.38
Testemunha	Argissolo	1	8.66	96.01	494.75	76.11
Testemunha	Argissolo	2	9.54	107.38	464.40	67.40
Testemunha	Argissolo	3	7.79	62.46	502.63	72.63
Subproduto	Argissolo	1	6.64	126.50	79.20	47.84
Subproduto	Argissolo	2	7.55	156.23	95.28	61.24
Subproduto	Argissolo	3	6.92	145.07	79.50	47.06
Calcário	Argissolo	1	6.33	116.12	59.77	42.51
Calcário	Argissolo	2	6.98	133.68	78.36	47.51
Calcário	Argissolo	3	6.14	116.81	64.99	47.31
Carbonatos	Argissolo	1	6.62	74.30	39.00	36.67
Carbonatos	Argissolo	2	6.26	118.20	34.54	38.85
Carbonatos	Argissolo	3	5.05	96.84	35.65	36.52
Carbonatos + gesso	Argissolo	1	6.31	98.02	45.33	37.31
Carbonatos + gesso	Argissolo	2	7.49	109.24	52.08	50.01
Carbonatos + gesso	Argissolo	3	6.66	97.94	47.74	33.56