

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

EMERSON MENEZES DAMASCENA

**POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DE SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA COMO FONTES DE SILÍCIO**

Uberlândia/MG

2022

EMERSON MENEZES DAMASCENA

**POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DE SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA COMO FONTES DE SILÍCIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira.

Uberlândia/MG

2022

EMERSON MENEZES DAMASCENA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
(Orientador)

Me. João George Moreira
(Membro da banca)

Ma. Ana Carolina Pereira de Vasconcelos
(Membro da banca)

*Em tudo dai graças; porque esta é a vontade
de Deus em Cristo Jesus para convosco.*

1 Tessalonicenses 5:18

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, que são os grandes responsáveis pela minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde, sabedoria e disposição para que eu pudesse realizar este sonho.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias pela oportunidade de concluir o curso de graduação em Agronomia.

Aos meus pais Valdomiro Alves Damascena e Elaine Aparecida Menezes Damascena pela educação, dedicação e sustento, foram meus exemplos de perseverança e, por todo amor.

Ao meu irmão William Menezes Damascena e sua família pela amizade, incentivo, carinho e apoio.

À minha querida namorada Lorryne Rodrigues Araújo, por me apoiar e ser meu ombro amigo nos momentos de alegria como também de tristezas.

Ao meu orientador professor Dr. Hamilton Seron Pereira pela confiança, por toda ajuda e direcionamento neste projeto.

À Msc. Camila Carvalho meu agradecimento especial pelo apoio, conselhos e auxílios. Não poderia deixar de dizer! Você é um exemplo de profissional e ser humano.

A todos os amigos da Empresa Júnior da UFU, Conteagro Soluções Agrônômicas, que tive o prazer de fazer parte e me ensinaram o que é espírito de equipe.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa de Silício na Agricultura (GPSi), por toda ajuda e amizade.

Aos meus amigos do coração Daniel Aparecido, Jéssica Cardoso e José Elias pela disposição em poder me ajudar e incentivo.

Aos amigos e técnicos do Laboratório de Análise de Solo (LABAS) e Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), por toda a ajuda e ensinamentos.

Quero agradecer a todos que participaram de maneira direta ou indireta da minha formação, o meu muito obrigado!

RESUMO

Por apresentarem em sua composição quantidades expressivas de silício (Si), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) os agregados siderúrgicos podem ser utilizados como fonte destes elementos para as plantas. Diante o exposto, objetivou-se avaliar a eficiência de dois agregados siderúrgicos, disponibilizados pela empresa Votorantim Cimentos, como fontes de Si para a cultura do arroz irrigado por inundação. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação localizada no Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Glória, Uberlândia - MG. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$. Os dois agregados siderúrgicos e a Wollastonita foram avaliados como fontes de Si no cultivo de arroz irrigado por inundação, em três diferentes doses (100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si), bem como utilizou-se uma testemunha sem a aplicação de Si para fins de comparação. As fontes foram incubadas por 45 dias em dois diferentes tipos de solo, um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) (69% de argila) e um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo) (9% de argila). Após o período de incubação, realizou-se a semeadura das plantas de arroz e uma lâmina d'água foi mantida durante o ciclo de cultivo. Aos 55 DAS, as plantas foram cortadas e amostras de solo foram coletadas. Em seguida, as amostras de solo de cada tratamento foram peneiradas para a retirada de raízes e um novo cultivo de arroz foi realizado, porém, sem a aplicação de Si para que fosse possível avaliar o potencial residual das fontes analisadas. Os subprodutos, em solo de textura arenosa, foram eficientes em aumentar os valores de Matéria seca por parte aérea em ambos os cultivos. Os agregados siderúrgicos apresentaram índice de eficiência agronômica semelhante à Wollastonita em solo de textura argilosa e superior à fonte padrão em solo de textura arenosa. De modo geral, os subprodutos da siderurgia promoveram maiores acúmulos dos nutrientes na parte aérea das plantas.

Palavras-chaves: *Oryza Sativa* L.; Silicatos; Arroz; Adubação.

ABSTRACT

As they present significant amounts of silicon (Si), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in their composition, steel aggregates can be used as a source of these elements for plants. In view of the above, the objective was to evaluate the efficiency of two steel aggregates, made available by the company Votorantim Cimentos, as sources of Si for the cultivation of rice irrigated by flooding. The experiments were carried out in a greenhouse located at the Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) of the Federal University of Uberlândia (UFU), Glória campus, Uberlândia - MG. A randomized block design (CBD) was used with four replications and in a 3 x 3 + 1 factorial scheme. The two steel aggregates and Wollastonite were evaluated as sources of Si in rice irrigated by flooding, at three different doses (100, 200 and 400 kg ha⁻¹ of Si), as well as a control without the application of Si for comparison purposes (dose 0). The sources were incubated for 45 days in two different soil types, a typical Dystrophic RED LATOSOL (LVd) (69% clay) and a typical Orthic QUARTZARENIC NEOSOL (RQo) (9% clay). After the incubation period, the rice plants were sowed and a water depth was maintained during the cultivation cycle. At 55 DAS, the plants were cut and soil samples were collected. Then, the soil samples from each treatment were sieved to remove the roots and a new rice crop was carried out, however, without the application of Si so that it was possible to evaluate the residual potential of the analyzed sources. The by-products, in sandy textured soil, were efficient in increasing the MSPA values in both crops. The steel aggregates presented an agronomic efficiency index similar to Wollastonite in clayey soil and superior to the standard source in sandy textured soil. In general, the by-products of the steel industry promoted greater accumulation of nutrients in the aerial part of the plants.

Keywords: *Oryza Sativa* L.; Silicates; Rice; Fertilizing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas das fontes de Silício utilizadas.

Tabela 2. Características físicas dos solos utilizados.

Tabela 3. Características químicas dos solos utilizados.

Tabela 4. Tratamentos e doses utilizadas.

Tabela 5. Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz (g vaso^{-1}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 6. Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso^{-1}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 7. Si em solo cultivado com plantas de arroz (mg dm^{-3}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 8. Ca acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso^{-1}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 9. Ca em solo cultivado com plantas de arroz (cmolc dm^{-3}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 10. Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso^{-1}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Tabela 11. Mg em solo cultivado com plantas de arroz (cmolc dm^{-3}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Adubação de plantio, após o período de incubação e antecedendo a semeadura do arroz.

Figura 2. Momento em que foi adicionada lâmina de água, após a emergência e antecedendo o perfilhamento das plantas.

Figura 3. Plantas de arroz aos 34 DAS, aos 15 dias antes do momento da colheita.

Figura 4. Plantas de arroz, após o primeiro cultivo em LVd, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

Figura 5. Plantas de arroz, após o primeiro cultivo em RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

Figura 6. Plantas de arroz, após o segundo cultivo em LVd, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

Figura 7. Plantas de arroz, após o segundo cultivo em RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

Figura 8. Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 9. Índice de eficiência agrônômica das fontes CSA e VRE em relação à Wollastonita, após dois cultivos consecutivos com arroz em LVd e em RQo.

Figura 10. Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 11. Percentual de Si recuperado pela parte aérea de plantas de arroz, após o primeiro (a) e o segundo cultivo (b) em LVd e em RQo, em função da aplicação das fontes VRE, CSA e Wollastonita na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si.

Figura 12. Si em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 13. Ca acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 14. Ca em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 15. Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

Figura 16. Mg em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Importância do Silício na cultura do arroz.....	12
2.2 Dinâmica do silício no solo	12
2.3 Dinâmica do silício na planta.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 1º CULTIVO.....	17
3.2 2º CULTIVO.....	18
3.3 Avaliações.....	18
3.4 Análises estatísticas	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Avaliação visual do desenvolvimento de plantas de arroz	20
4.2 Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz (MSPA) (g vaso ⁻¹)	25
4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA) (%)	27
4.4 Si acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)	28
4.5 Percentual de Si recuperado (%).....	31
4.6 Si no solo (mg dm ⁻³)	33
4.7 Ca acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)	35
4.8 Ca no solo (cmol _c dm ⁻³)	37
4.9 Mg acumulado na parte aérea de plantas (mg vaso ⁻¹).....	39
4.10 Mg no solo (cmol _c dm ⁻³)	42
5 CONCLUSÃO	44
6 REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Os subprodutos industriais são obtidos em praticamente todas as etapas dos processos de produção, os quais apresentam variações quanto à composição química e ao volume gerado devido, principalmente, às diferentes matérias-primas utilizadas. Neste sentido, uma das maiores dificuldades para o desenvolvimento de ações de tratamento e destinação de subprodutos industriais é a ausência de técnicas de processamento e beneficiamento compatíveis à quantidade do material produzido. Assim, esses produtos têm sido acumulados nos pátios industriais por não apresentarem um valor aparente (BROWN, 2003) ou pelo não conhecimento do seu potencial para possível reuso.

O uso de subprodutos industriais como matérias-primas em outros processos produtivos, transformando esses materiais em novos produtos úteis (MANHÃES; HOLANDA, 2008) e de baixo custo, é uma alternativa para melhor utilização dos volumes produzidos. Neste contexto, a utilização de subprodutos para fins agrícolas tem se tornado uma opção frequente, visto que possuem, muitas vezes, características de correção de acidez e/ou fornecedores de nutrientes ao solo (ERIKSEN et al., 1999; WOLKOWSKI, 2003).

Dentre os resíduos e subprodutos obtidos nas indústrias com potencial de uso agrícola destacam-se os agregados siderúrgicos. Estes produtos são provenientes da produção do aço, níquel e ferro-gusa, podendo fornecer cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si) para as culturas, bem como proporcionar a correção da acidez do solo (CORRÊA et al., 2007). Korndörfer et al. (2004) afirmam que os subprodutos da indústria do aço possuem alto conteúdo de Si solúvel, bem como grande facilidade de aplicação mecanizada, adequadas relações e quantidades de Ca e Mg, custo reduzido e baixo potencial de contaminação do solo com metais pesados. Ademais, ressalta-se que a destinação dos agregados para as práticas agrícolas minimiza o acúmulo do material nos pátios das indústrias produtoras de ferro e aço (PRADO et al., 2004).

Conforme mencionado, a presença de Si nos agregados siderúrgicos é uma das características que podem agregar valor a esses subprodutos. Dentre os benefícios observados com a adubação silicatada, Korndörfer e Datnoff (1995) mostram o aumento da eficiência fotossintética, a maior tolerância ao estresse hídrico, especialmente durante os períodos de veranico e melhorias na arquitetura das plantas. Tais benefícios resultam em maior qualidade do produto colhido e aumentos de produtividade (SOUSA et al., 2010).

Neste sentido, objetivou-se avaliar a eficiência de dois agregados siderúrgicos, disponibilizados pela empresa Votorantim Cimentos, como fontes de Si para a cultura do arroz irrigado por inundação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do Silício na cultura do arroz

O arroz é uma espécie acumuladora de Si, na qual o alto teor demonstra ser necessário para o crescimento saudável e produção elevada e estável (FERREIRA, 2021).

Mesmo não sendo essencial, do ponto de vista fisiológico, para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a absorção de Si traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz (OLIVEIRA, 2015).

As plantas de arroz são altamente eficientes na absorção e acúmulo de silício (Si) em seus tecidos (TOKURA et al., 2011). O acúmulo de sílica em gramíneas é um fenômeno bem conhecido, porém o mecanismo de deposição desta sílica não é muito claro (MAUAD et al., 2013).

O silício se apresenta como um elemento útil para a cultura do arroz, sendo capaz de aumentar a produção da cultura e controlar várias doenças de importância econômica (MAUAD et al., 2013), tais como a brusone, causada por *Pyricularia grisea*, escaldadura, causada por *Microdochium oryzae*, mancha parda, causada por *Drechslera oryzae* (OHATA et al., 1972; ELAWAD & GREEN Jr., 1979; KIM & LEE, 1982; ALESHIN et al., 1987, DATNOFF et al., 1990, 1991).

Outro efeito bastante interessante que o silício tem demonstrado é o controle de algumas pragas do arroz, na qual o comportamento dos insetos é afetado pela presença de altos níveis de Si na planta (SAVANT et al., 1997).

2.2 Dinâmica do silício no solo

O silício (Si) é o elemento mais abundante da crosta terrestre que, apesar de não ser considerado um nutriente essencial para as plantas, proporciona diversos benefícios às culturas (KEEPING, 2017). É encontrado, em quase totalidade na forma de dióxido de silício (SiO_2), também conhecido como sílica – e silicatos, sendo compostos contendo silício,

oxigênio e metais e em demais formas não disponíveis às plantas.

No solo, o silício se apresenta na forma de silício solúvel, de pronto aproveitamento para a planta, principalmente na forma de ácido silícico ou de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (KORNDÖRFER, 2006). A principal disponibilidade natural de Si para as plantas, nestes solos, são provavelmente os restos culturais (LIANG ET AL., 2015).

Várias interferências entre Si e outros íons tais como Fósforo (P), Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) podem ocorrer no solo e modificar o comportamento do Si. Em solos ácidos, íons silicato e fosfato formam precipitados insolúveis que podem fixar vários outros cátions (óxidos de Fe e Al que tem uma capacidade marcante em fixar Si dissolvido na forma de H_4SiO_4) (VALLE, 2016).

O uso do Si pode corrigir pH do solo e, consequentemente, aumentar a eficiência do P aplicado, principalmente em solos mais ácidos, devido a capacidade do Si competir pelos mesmos sítios de adsorção de fosfato no solo, podendo então competir com o P pelos óxidos de Fe e Al, aumentando sua disponibilidade às plantas (ÁVILA, 2016).

As principais formas de dreno do Si são a lixiviação, polimerização do ácido silícico, adsorção por óxidos e hidróxidos de Fe e Al e principalmente a absorção pelas plantas (KORNDÖRFER, 2006).

A solubilização de Si no solo é baixa e ocorre por meio dos exsudatos das raízes de plantas que relacionam com os minerais presentes no solo (silicatados), disponibilizando assim o elemento para absorção, principalmente na forma de ácido silícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$) (EPSTEIN, 1994). A faixa ideal de pH para absorção do Si pela planta é 4,0 a 6,5. Acima de 8,5 sua disponibilidade diminuiu, devido à sua conversão em sais de silicato. (JONES; HANDRECK, 1965).

E apesar de ser o segundo elemento de maior abundância na crosta terrestre, a maioria dos solos carece da forma disponível de Si aos vegetais, ou seja, ácido silícico (GAUR et al., 2020).

2.3 Dinâmica do silício na planta

O Si é absorvido pelas raízes das plantas, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), através de um processo passivo ou ativo. No primeiro modo, acontece via xilema juntamente com a água (fluxo de massa). Já no mecanismo ativo, ocorre através de transportadores específicos situados na membrana plasmática das células das raízes (MITANI E MA, 2005).

As plantas diferem na sua capacidade em absorver silício. A variação é resultado tanto da fisiologia das diferentes espécies, quanto do ambiente onde as plantas se desenvolvem. A diferença ocorre até mesmo entre genótipos de uma mesma espécie (CHAGAS, 2004).

O silício tem sido aplicado, mesmo não sendo um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas, visando principalmente a aumentar a resistência da planta a pragas e doenças (SILVA, 2009).

Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, a sua absorção traz inúmeros benefícios para a cultura, demonstrando a sua “essencialidade agronômica” para um aumento e/ou produção sustentável (BARBOSA FILHO et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação localizada no Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Glória, Uberlândia - MG. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$. Os dois agregados siderúrgicos e a Wollastonita foram avaliados como fontes de Si no cultivo de arroz irrigado por inundação, em três doses (100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si). Utilizou-se também uma testemunha sem a aplicação de Si.

Os subprodutos avaliados foram disponibilizados pela Votorantim Cimentos e denominados como agregado VRE e agregado CSA. Estes foram analisados de acordo com as metodologias propostas por Silva (2009) (análise dos teores de Ca e Mg) e Korndorfer et al. (2004) (análise dos teores de Si total e disponível) no laboratório de tecnologia de fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas das fontes de Si utilizadas neste experimento.

Fonte	Si (%)		Ca (%)	Mg (%)
	Total	Disponível		
Agregado CSA	16,9	1,6	30,9	3,7
Agregado VRE	19,6	2,8	29,9	3,4
Wollastonita	24,0	11,0	42,4	1,9

Si total e disponível: Korndorfer et al. (2004); Ca e Mg: Silva (2009).

Posteriormente, os tratamentos foram aplicados no dia 05 de dezembro de 2018 e foram incubados por 45 dias em 10 dm³ de 2 tipos de solo, um LATOSSO VERMELHO Distrófico típico (LVd) (69% argila) e um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo) (9% de argila) (SANTOS et al. 2013), coletados na profundidade de 0-20cm, cujas características físicas e químicas estão descritas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Esse processo de incubação consistiu em deixar o solo em repouso para que ocorresse a reação dos corretivos.

Tabela 2. Características físicas dos solos utilizados neste experimento.

Solo	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹		
LVd	210	100	690
RQo	900	10	90

Análise textural pelo método da pipeta (SILVA, 2009).

Tabela 3. Características químicas dos solos utilizados neste experimento.

Solo	pH	Si	K ⁺	P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	T	t	V	m
	CaCl ₂	--- mg dm ⁻³ ---			----- cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----		
LVd	4,5	4,8	19,6	0,3	0,55	0,1	0,1	0,25	3,5	0,8	8,0	69
RQo	4,8	2,2	11,7	0,5	0,47	0,1	0,1	0,23	2,3	0,7	9,0	68

Si: CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; P, K: (Mehlich-1); Al, Ca, Mg: (KCl 1 mol L⁻¹); SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; t: CTC efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por Al.

A determinação das doses de cada fonte se deu conforme os teores de Si total nos produtos. Foram adicionadas, além das fontes de Si, doses de CaCO₃ e de MgCO₃, de acordo com os teores de Ca e Mg dos produtos, tendo como objetivo a elevação da saturação de base de ambos os solos até 70% e a disponibilização de Ca e Mg, uma vez que a Wollastonita

apresenta teores significativos desses elementos. Os tratamentos e doses utilizadas neste estudo estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Tratamentos e doses utilizadas no experimento.

Produto	Si total	Dose de Si	Dose dos produtos	Dose de CaCO_3	Dose de MgCO_3
	%	kg ha^{-1}	g vaso^{-1}	g vaso^{-1}	g vaso^{-1}
Testemunha	-	0	0	10,9	2,20
CSA	16,9	100	2,96	9,27	2,04
CSA	16,9	200	5,92	7,64	1,88
CSA	16,9	400	11,83	4,37	1,55
VRE	19,6	100	2,55	9,54	2,07
VRE	19,6	200	5,10	8,18	1,94
VRE	19,6	400	10,20	5,45	1,68
Wollastonita	24,0	100	2,08	9,32	2,14
Wollastonita	24,0	200	4,17	7,75	2,08
Wollastonita	24,0	400	8,33	4,59	1,96

Si total: Korndorfer et al. (2004).

Passado o período de incubação (janeiro/2019), adicionaram-se às amostras 40 mg kg^{-1} de N e 200 mg kg^{-1} de P_2O_5 através da fonte fosfato monoamônico (MAP) e 180 mg kg^{-1} de K_2O via cloreto de potássio (KCl). Os micronutrientes foram fornecidos aplicando-se 3,6; 0,72; 0,34 e $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn, B, Cu e Mn, respectivamente, através da fonte FTE BR-12 (Figura 1).



Figura 1. Adubação de plantio, após o período de incubação e antecedendo a semeadura do arroz.

3.1 1º CULTIVO

Seguidamente, foi semeado a cultivar de arroz irrigado BRS Atalanta, tendo como características plantas do tipo “moderno-filipino”, de folhas e grãos lisos, alta capacidade de perfilhamento, colmos fortes e com ciclo biológico ao redor dos 100 dias (podendo variar de 90 a 100) (EMBRAPA, 2007). Em cada vaso foram semeadas 10 sementes, com profundidade de 2 cm e logo após a emergência das plântulas e antes do perfilhamento, foi realizado o desbaste das plantas, deixando quatro plantas por vaso (Figura 2). Juntamente, foi acrescentada uma lâmina de água de aproximadamente 2 cm, a qual foi mantida até o momento da colheita.



Figura 2. Momento em que foi adicionada lâmina de água, após a emergência e antecedendo o perfilhamento das plantas.

Foi realizado a aplicação de sulfato de amônio em cobertura com o objetivo de disponibilizar 100 mg kg⁻¹ de N aos 15 e 30 dias após semeadura (DAS). Realizou-se também, aos 20 e 35 DAS, pulverização foliar de 1 g L⁻¹ da fonte Aminocam®, disponibilizada pela Evotec, a qual contém 9% de N, 5,7% de S, 6% de B, 0,5% de Cu, 0,1% de Fe, 5,5% de Mn, 1% de Mo e 5% de Zn. Durante todo experimento, realizamos observações para avaliar a possível incidência de pragas e doenças no cultivo do arroz.

As plantas foram cortadas aos 55 DAS com o auxílio de tesouras de podas e amostras de solo foram coletadas utilizando-se um mini trado. Em seguida, as amostras de solo de cada tratamento foram peneiradas para a retirada de raízes e um novo cultivo de arroz foi realizado, porém, sem a aplicação de Si para que fosse possível avaliar o potencial residual das fontes analisadas.

3.2 2º CULTIVO

Foi realizada uma adubação de semeadura da mesma forma que no cultivo anterior, bem como o plantio, a adição da lâmina de água e a aplicação de cobertura de N aos 15 e 32 DAS e de micronutrientes aos 20 e 35 DAS. Entretanto, neste cultivo, tornou-se necessária a pulverização, aos 22 DAS, de 1,0 mL L⁻¹ de lambda-cialotrina + tiametoxam (Engeo pleno®) para o controle de lagartas. Aos 51 DAS (maio/2019) as plantas de arroz foram colhidas e amostras de solo foram coletadas.



Figura 3. Plantas de arroz aos 34 DAS, aos 15 dias antes do momento da colheita.

3.3 Avaliações

Logo após a colheita de ambos os cultivos foram feitas fotografias com o intuito de avaliar se houve diferenças visuais no desenvolvimento das plantas com a aplicação das fontes CSA, VRE e Wollastonita.

As plantas foram colhidas, lavadas e acondicionadas em sacos de papel, submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Após, foram pesadas para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) (g vaso⁻¹).

Para análises de Ca e Mg na parte aérea, o material vegetal foi moído e submetido à digestão nítrico-perclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959), sendo determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). Também, as amostras moídas foram submetidas à análise de Si seguindo a metodologia proposta por Konorfer et al. (2004). Os teores dos nutrientes na parte aérea foram convertidos a teores acumulados utilizando-se os valores de MSPA, obtendo-se assim valores em mg vaso⁻¹.

Através dos valores de MSPA, calculou-se ainda o índice de eficiência agrônômica (IEA) dos agregados siderúrgicos para cada tipo de solo e cultivo, conforme a equação abaixo (Equação 1):

$$\text{Equação 1: IEA (\%)} = \frac{\text{MSPA agregado} - \text{MSPA testemunha}}{\text{MSPA Wollastonita} - \text{MSPA testemunha}} \times 100$$

onde *MSPA agregado* se refere ao valor médio de MSPA de plantas cultivadas com a aplicação de cada um dos subprodutos, *MSPA Wollastonita* se refere ao valor médio de MSPA de plantas cultivadas com a aplicação da Wollastonita e *MSPA testemunha* se refere ao valor médio de MSPA de plantas cultivadas sem a aplicação de quaisquer fontes de Si (testemunha).

Também, com os valores médios de Si acumulado na parte aérea de plantas, calculou-se o percentual de Si recuperado conforme a equação abaixo (Equação 2):

$$\text{Equação 2: Si recuperado (\%)} = \frac{\text{Si Ac fontes} - \text{Si Ac Testemunha}}{\text{Si aplicado}} \times 100$$

onde *Si Ac fontes* corresponde ao valor médio de Si acumulado na parte aérea de plantas nos tratamentos em que cada uma das fontes (CSA, VRE e Wollastonita) foram aplicadas na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si, *Si Ac Testemunha* corresponde ao valor médio de Si acumulado na parte aérea de plantas no tratamento em que não houve a aplicação de Si (testemunha) e *Si aplicado* corresponde a dose aplicada do elemento (400 kg ha⁻¹ de Si, ou seja, 2000 mg vaso⁻¹).

As amostras de solo foram secas, peneiradas e submetidas à análise de Ca, Mg (SILVA, 2009) e Si (KORNDORFER et al., 2004).

3.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016). Em seguida, as médias foram comparadas pelos testes de Tukey e Dunnet, ambos a 0,05 de significância. Além disso, para a variável dose, realizou-se análise de regressão com auxílio dos programas estatísticos Sisvar (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e SigmaPlot (versão 11.0) (SYSTAT SOFTWARE, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação visual do desenvolvimento de plantas de arroz

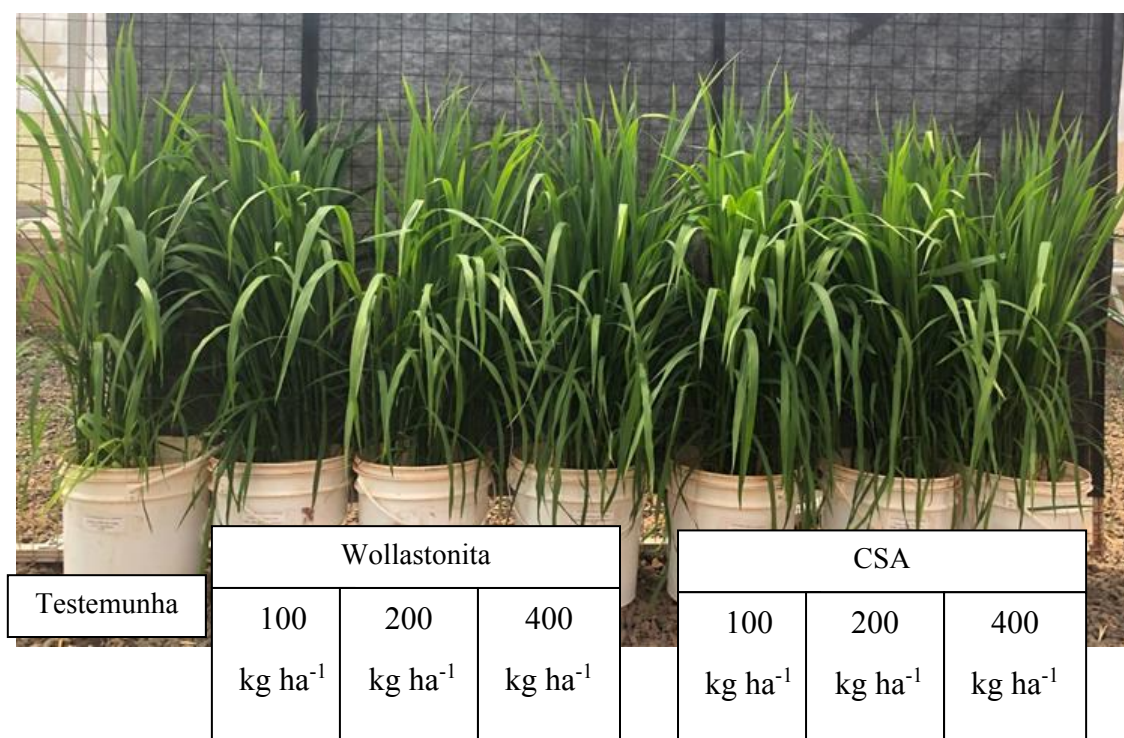
As Figuras 4, 5, 6 e 7 demonstram o desenvolvimento de plantas após o primeiro (Figuras 4 e 5) e segundo cultivo (Figuras 6 e 7) com a cultura do arroz em LVd e em RQo em função da aplicação de doses de Si, através das fontes CSA, VRE e Wollastonita.

De modo geral, após o primeiro cultivo, as plantas cultivadas em LVd e RQo, com diferentes doses de Si e fontes, não apresentaram diferenças visuais em relação a testemunha.

Após o segundo cultivo, foi observado um desenvolvimento menor das plantas do vaso testemunha, apresentando um número menor de perfilhos comparada aos demais tratamentos.

Com os registros visuais obtidos nesta pesquisa, podemos inferir um melhor desenvolvimento de plantas, cultivadas tanto em LVd quanto RQo, com as fontes CSA e VRE, destacando-se as plantas cultivadas em LVd com a fonte VRE. Essas diferenças corroboram com o fato da absorção do Si conferir benefícios às culturas, tais como: aumento da resistência ao acamamento e da eficiência fotossintética (DEREN, 2001).

(a)



(b)

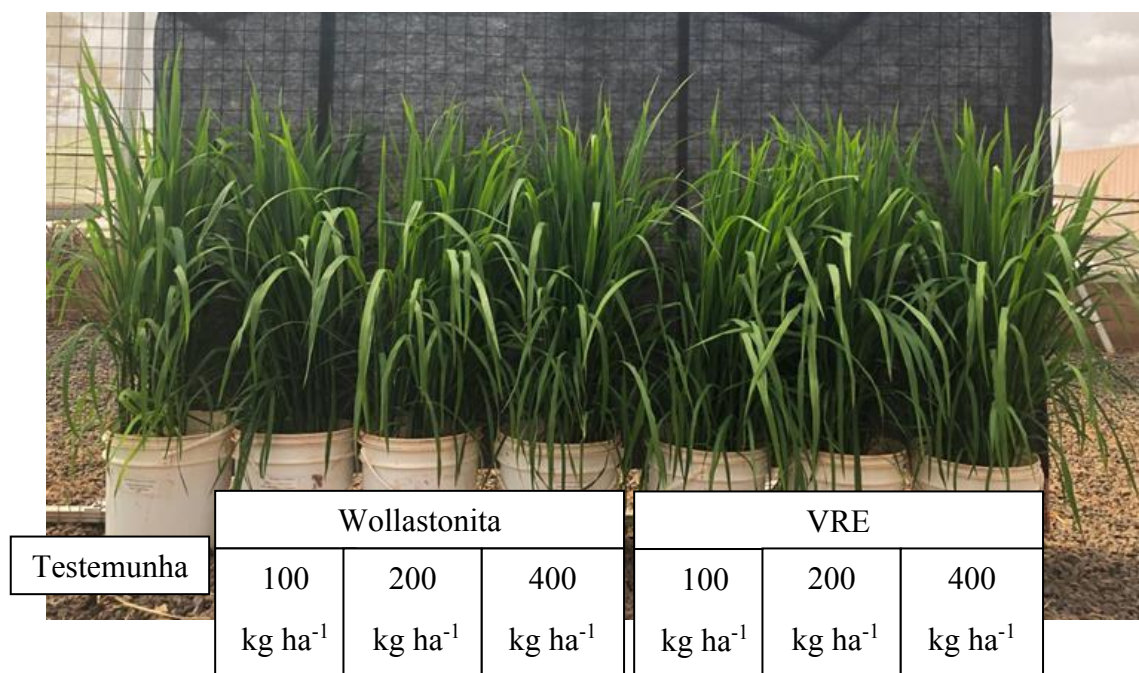
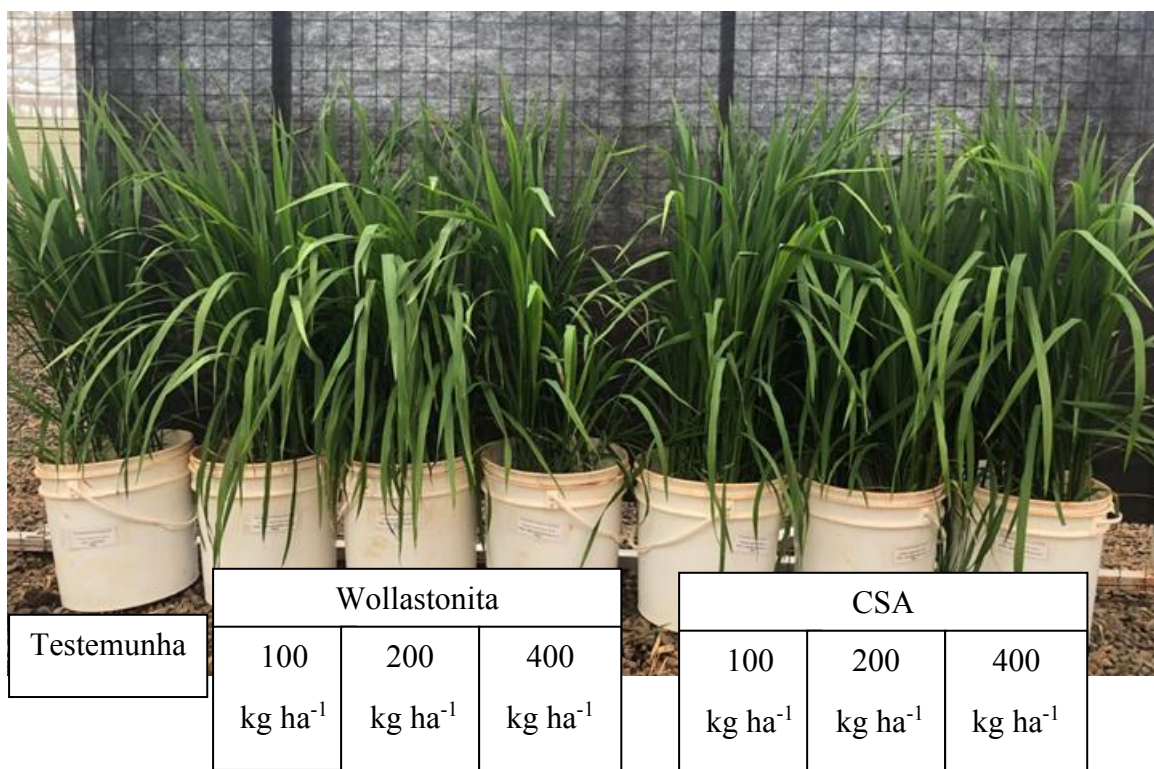


Figura 4. Plantas de arroz, após o primeiro cultivo em LVd, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

(a)



(b)

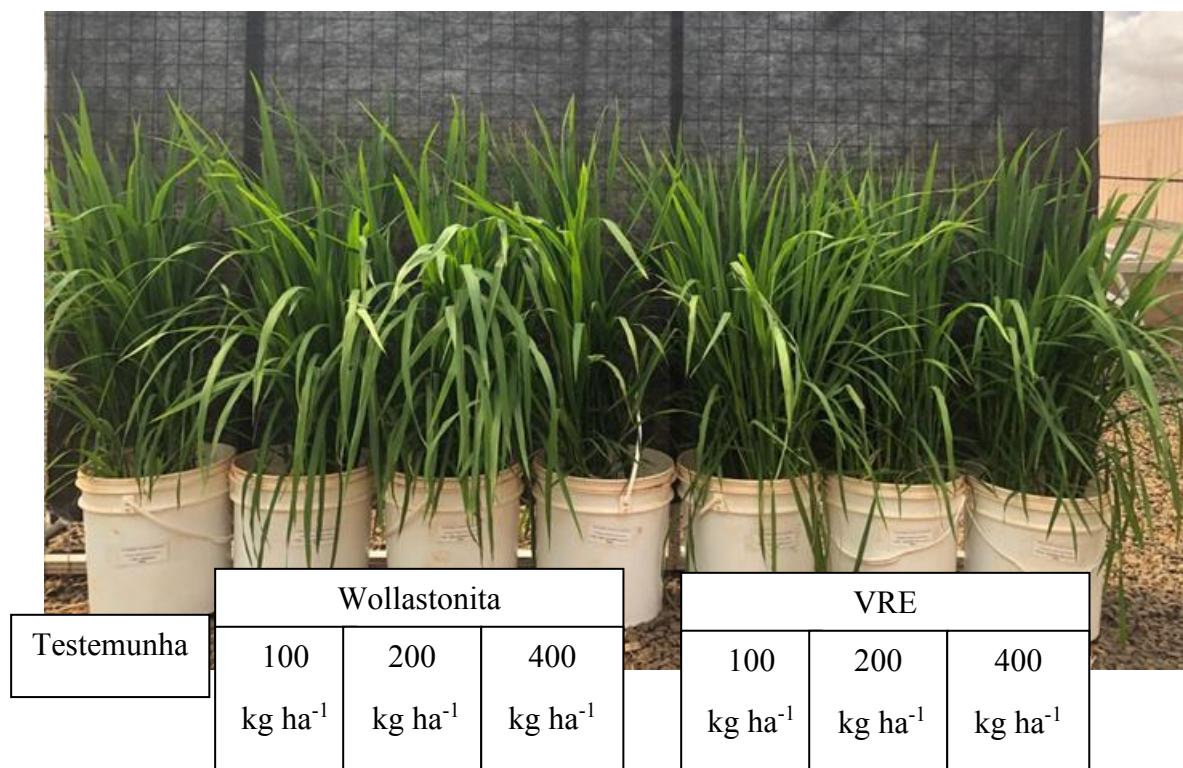
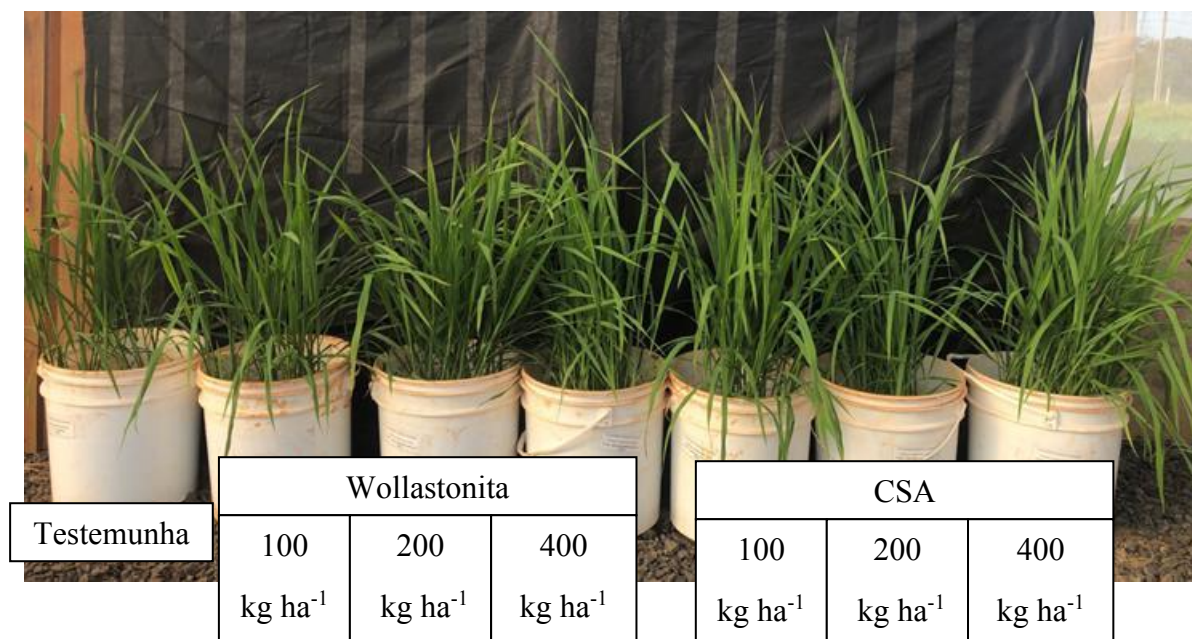


Figura 5. Plantas de arroz, após o primeiro cultivo em RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

(a)

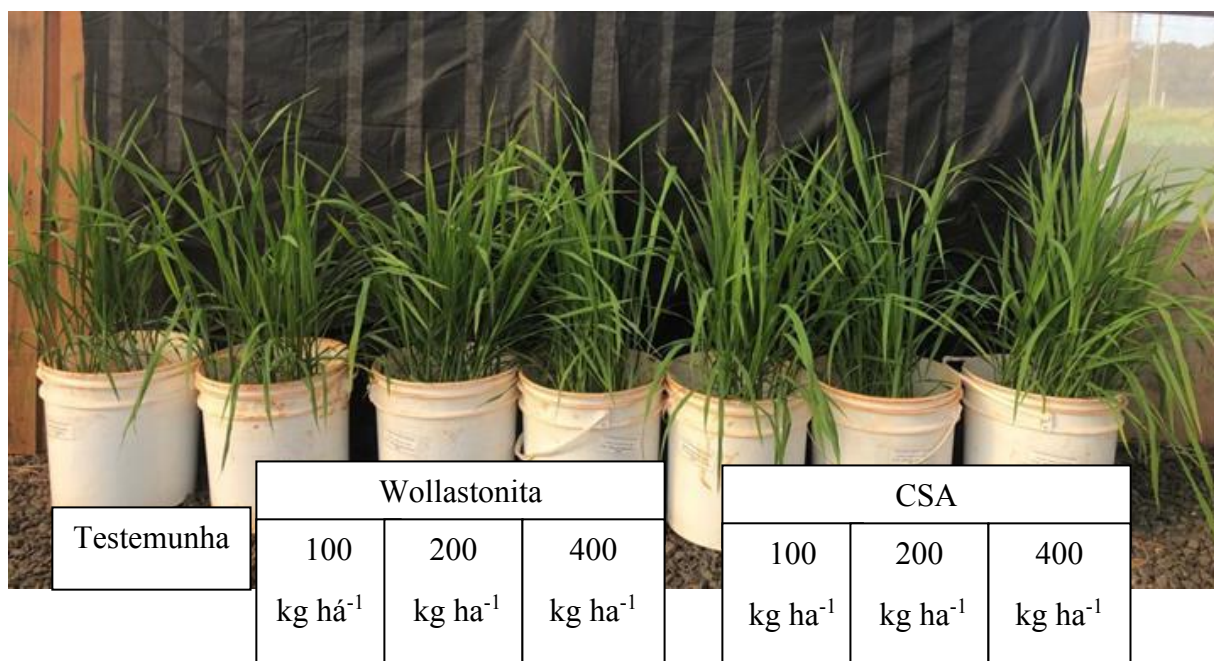


(b)



Figura 6. Plantas de arroz, após o segundo cultivo em LVd, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

(a)



(b)

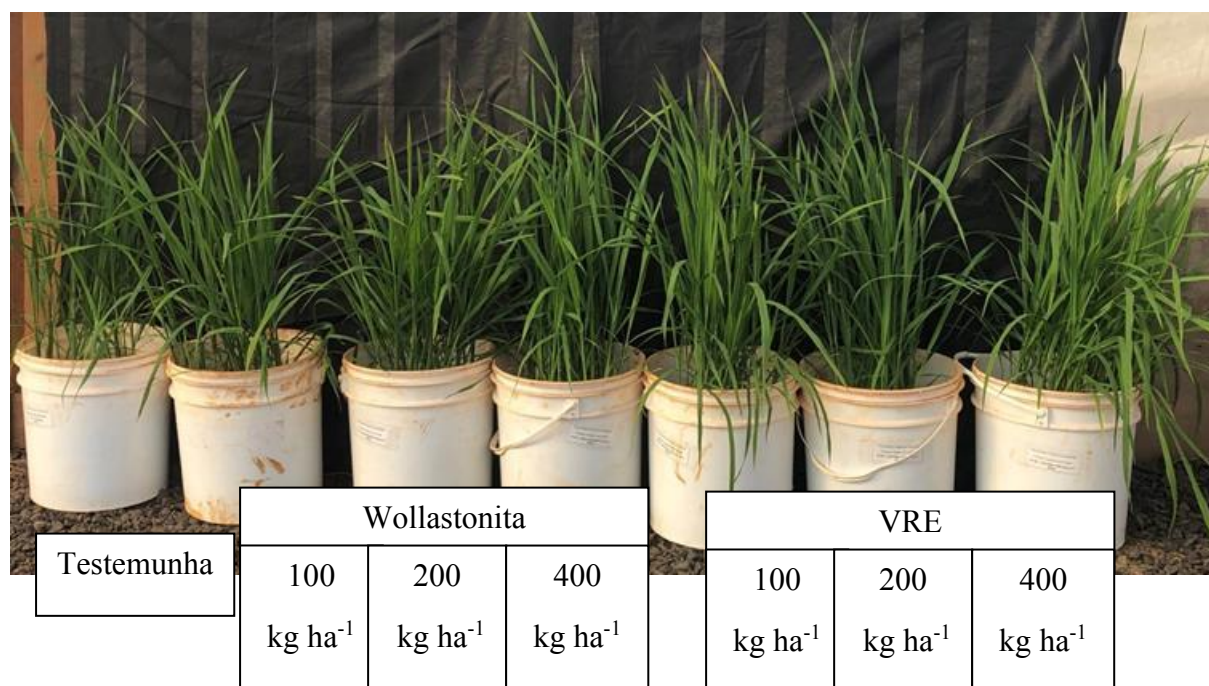


Figura 7. Plantas de arroz, após o segundo cultivo em RQo, em função da aplicação de doses crescentes de Si através das fontes CSA (a) e VRE (b).

4.2 Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz (MSPA) (g vaso⁻¹)

De modo geral, não foram observadas diferenças entre as fontes de Si quanto aos valores de MSPA de plantas de arroz após ambos os cultivos em solo de textura argilosa (LVd) (Tabela 5). Pereira et al. (2003) também não encontraram diferença significativa na produção de massa seca da parte aérea do arroz, cultivadas em Neossolo Quartzarêncio Órtico típico.

Entretanto, nota-se que, a aplicação do agregado VRE, na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si, resultou em valores de MSPA superiores ao tratamento testemunha após o 1º cultivo, com acréscimos de aproximadamente 24 g vaso⁻¹. Este resultado corrobora com o estudo de Korndörfer et.al (2013), em que foi avaliado a produção e extração de Si pelo arroz, na qual não apresentou diferenças significativas de MSPA em relação as diferentes fontes testadas.

Em solo de textura arenosa (RQo), as maiores doses dos agregados siderúrgicos promoveram valores de MSPA superiores aos obtidos com a fonte Wollastonita (Tabela 5). Dessa forma, após o 1º cultivo com arroz, acréscimos de até aproximadamente 26 e 63g vaso⁻¹ em relação aos tratamentos testemunha e Wollastonita, respectivamente, foram obtidos com a aplicação do agregado CSA na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si. Após o segundo cultivo, acréscimos de 22,7 e 19,2 g vaso⁻¹ em relação aos tratamentos testemunha e Wollastonita, respectivamente, foram obtidos, sendo que, neste caso, melhores resultados foram observados com a fonte VRE (Tabela 5).

Apesar de não obtida interação significativa entre as diferentes fontes e doses de Si em LVd, ressalta-se que, ao se avaliar a médias das três fontes, modelos polinomiais quadráticos foram obtidos após os dois cultivos com arroz (Figuras 8a e 8c). Estes resultados concordam com Pereira et al. (2004), os quais não observaram diferença significativa entre os tratamentos onde foi aplicada 125 kg ha⁻¹ de Si na forma de silicato de cálcio, na produção de matéria seca de plantas de arroz inundado. Neste sentido, maior acúmulo de MSPA após o primeiro e o segundo cultivo seria obtido com a aplicação de 338 e 317 kg ha⁻¹ de Si, respectivamente (pontos máximos das curvas) (Figuras 8a e 8c).

Quanto ao solo de textura arenosa, observa-se que, após o primeiro cultivo, modelos polinomiais quadráticos foram obtidos com a aplicação de ambos os agregados siderúrgicos, cujos maiores valores de MSPA seria obtido com a aplicação de 280 e 291 kg ha⁻¹ de Si, através das fontes CSA e VRE, respectivamente (pontos máximos das curvas) (Figuras 8b e 8d). Após o segundo cultivo, modelos quadráticos foram obtidos com a utilização das fontes

CSA e Wollastonita, cujos maiores valores de MSPA seriam obtidos com a aplicação dessas fontes das doses de 323 e 230 kg ha⁻¹ de Si, respectivamente (pontos máximos das curvas). Para a fonte VRE, acréscimos lineares de 5,5 g vaso⁻¹ são obtidos a cada 100 kg ha⁻¹ de Si adicionados através desta fonte.

Os resultados apresentados confirmam a eficiência da adubação silicatada em incrementar a MSPA em plantas de arroz. O acúmulo de MSPA pode ser explicado, possivelmente, pelos efeitos indiretos do Si em promover inúmeros benefícios para as plantas, proporcionando aumento de matéria seca (GOMES et al., 2011), como também, sendo indutor de tolerância aos mais variados estresses, como déficit hídrico (ZANETTI, 2013), à toxicidade de alumínio (LIANG et al., 2001) e de manganês (LI et al., 2012).

Tabela 5. Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz (g vaso⁻¹), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Dose de Si (kg ha ⁻¹)	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0		76,5				66,2		
100	82,7	81,5	86,5	83,6	85,2 a	71,0 a	81,7 a	79,3
200	94,6	88,6	87,2	90,1	93,4 a*	84,8 a	55,7 b	77,9
400	85,0	100,8*	90,1	92,0	91,8 a*	80,5 a	29,0 b*	67,1
Média	87,4 a	90,3 a	87,9 a		90,1	78,8	55,4	
II cultivo								
0		35,8				26,1		
100	42,9	41,9	40,4	41,7	31,3 a	31,8 a	33,9 a	32,3
200	42,2	42,9	44,5	43,2	38,2 a*	31,5 a	31,2 a	33,6
400	45,9	44,0	43,3	44,4	38,2 b*	48,8 a*	29,6 c	38,8
Média	43,6 a	42,9 a	42,7 a		35,9	37,3	31,5	

I cultivo: LVd: CV: 12,4%, DMSDunnet: 22,1; DMSTukey: 11,0. RQo: CV: 15,1%, DMSDunnet: 22,7; DMSTukey: 19,5.

II cultivo: LVd: CV: 18,4%, DMSDunnet: 15,8; DMSTukey: 7,9. RQo: CV: 13,8%, DMSDunnet: 9,5; DMSTukey: 8,2.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. Wo: Wollastonita

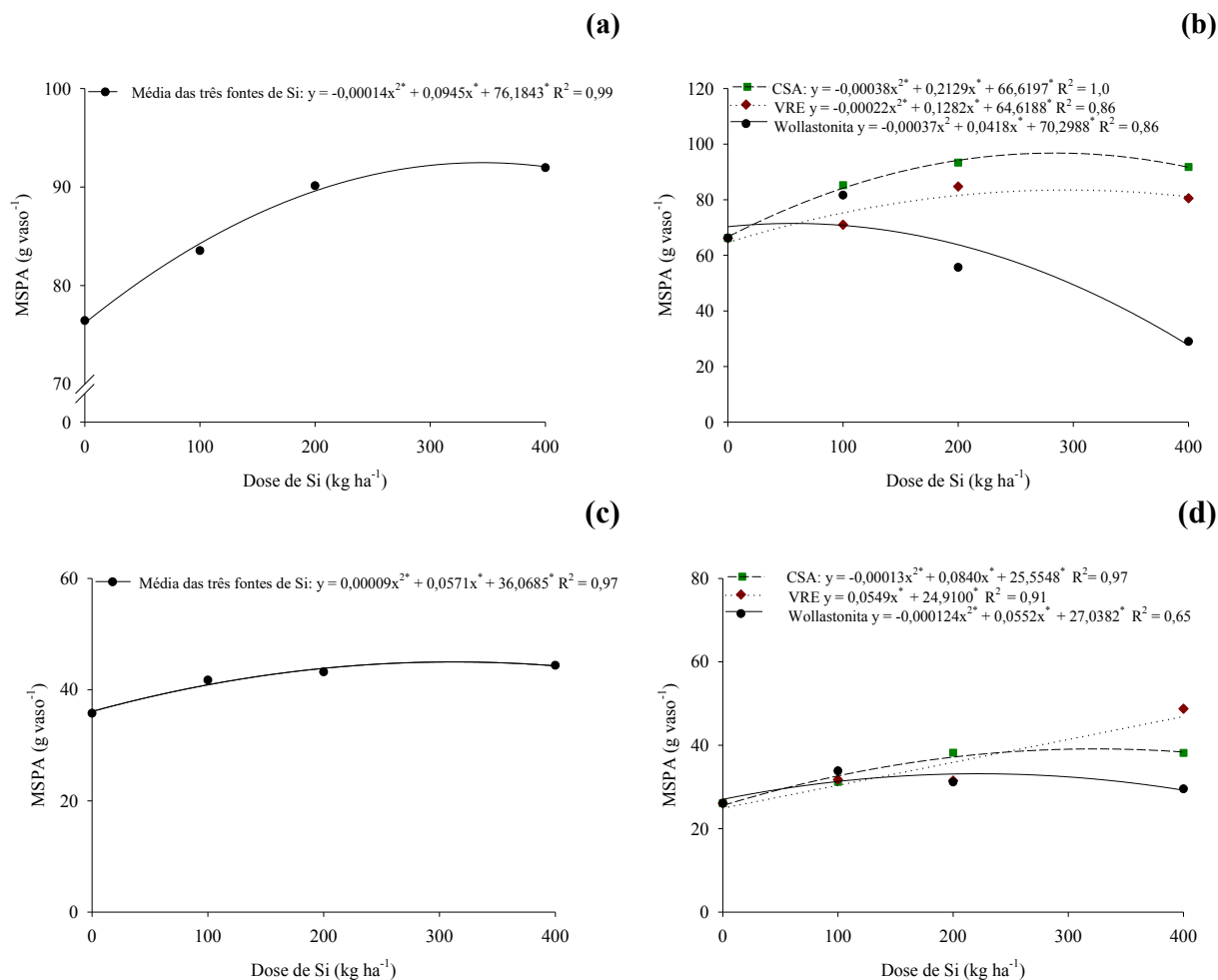


Figura 8. Matéria seca da parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.3 Índice de eficiência agrônômica (IEA) (%)

De modo geral, os agregados siderúrgicos apresentaram índice de eficiência agrônômica igual ou superior à fonte padrão Wollastonita (valores maiores que 100%) (Figura 9). Quando aplicados em solo de textura argilosa (LVd), os agregados siderúrgicos demonstraram eficiência agrônômica superior à fonte padrão, exceto com a aplicação do CSA após o primeiro cultivo, cujo valor de IEA foi semelhante à Wollastonita (96%).

No solo de textura arenosa (RQo), os agregados siderúrgicos apresentaram eficiência agrônômica superior à fonte padrão após ambos os cultivos, com acréscimos de até 63% após o primeiro cultivo e de 106% após o segundo cultivo.

Embora o silício não seja um elemento essencial para o crescimento e o desenvolvimento de plantas superiores, de acordo com Epstein (2001), sob condições de

estresse, como por exemplo deficiência nutricional, elementos tóxicos, salinidade, estresse hídrico, estresse luminoso (FERREIRA, 2021), o tratamento com silício pode causar notável diferença no seu desempenho.

Vale ressaltar, que alguns trabalhos já constatarem a eficiência agrônômica de alguns materiais silicatados, porém, é de extrema importância observar fontes com maior potencial, verificando se essas possuem as seguintes características: altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), além de baixos teores de metais pesados, em especial para escórias siderúrgicas (KORNDÖRFER et al. 2004).

Portanto, através de suas propriedades físico-químicas, as fontes de Si testadas apresentaram boas características agrônômicas para uso como fertilizantes silicatados para cultura do arroz para ambos os solos.

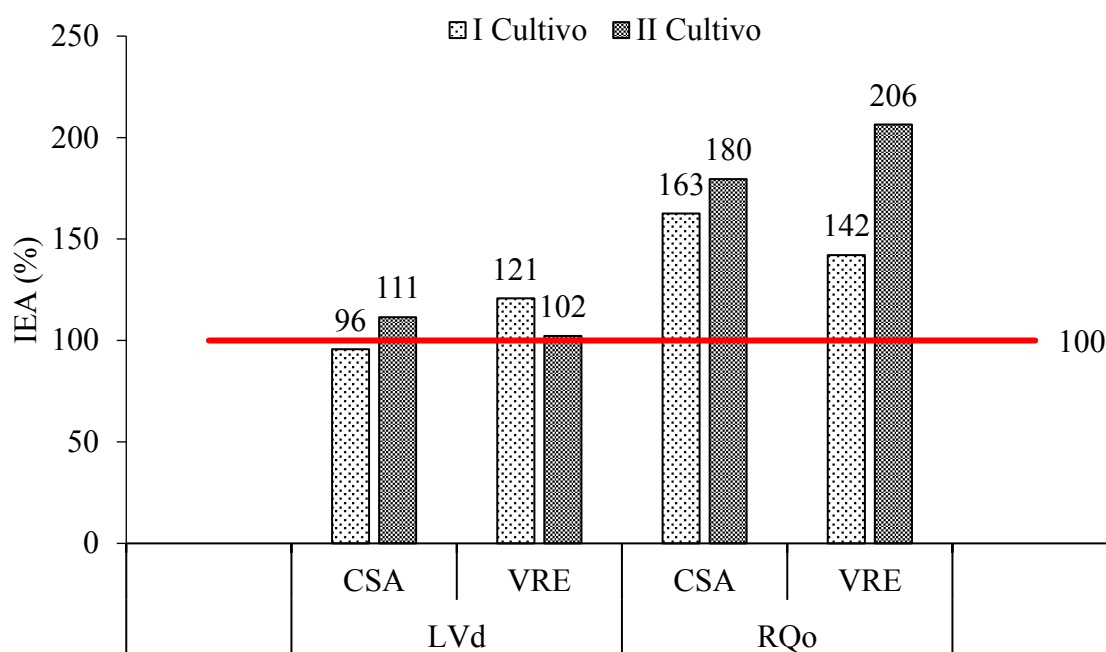


Figura 9. Índice de eficiência agrônômica das fontes CSA e VRE em relação à Wollastonita, após dois cultivos consecutivos com arroz em LVd e em RQo.

4.4 Si acumulado na parte aérea (mg vaso⁻¹)

A aplicação da maior dose dos dois agregados siderúrgicos (400 kg ha⁻¹ de Si) no solo de textura argilosa (LVd) resultou em acúmulo de Si na parte aérea de plantas de arroz

superiores ao tratamento testemunha, com acréscimos de até 1400 e 500 mg vaso⁻¹ de Si após o 1º e 2º cultivo, respectivamente (Tabela 6). Ao se comparar as diferentes fontes de Si, apesar de não serem observadas diferenças no 1º cultivo, nota-se que, após o 2º cultivo, a fonte VRE resultou em valor médio de Si acumulado superior ao tratamento Wollastonita, com acréscimos de aproximadamente 180 mg vaso⁻¹ de Si.

Ao se avaliar o efeito das diferentes fontes no solo de textura arenosa (RQo), observa-se que, de modo geral, as maiores doses dos agregados siderúrgicos resultaram em valores de Si acumulado na parte aérea de plantas superiores aos obtidos nos tratamentos testemunha e Wollastonita (Tabela 6). Dessa forma, após o 1º cultivo, a aplicação da maior dose da fonte CSA (400 kg ha⁻¹ de Si) resultou em acréscimos de aproximadamente 2000 mg vaso⁻¹ de Si em relação ao tratamento testemunha e de 1675 mg vaso⁻¹ de Si em relação à Wollastonita aplicada nesta mesma dose. Após o 2º cultivo, a fonte VRE, aplicada na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si, promoveu acréscimos em relação ao tratamento testemunha e à Wollastonita de aproximadamente 600 e 280 mg vaso⁻¹ de Si, respectivamente.

Este maior acúmulo de Si nas plantas cultivadas em solo de textura arenosa (RQo), pode ser explicado, possivelmente, pelas características físicas do mesmo, possuindo menores teores de silte, o que favorece o menor impedimento físico à penetração do sistema radicular no vaso de cultivo, permitindo maior crescimento de plantas, acompanhado de uma maior absorção de Si, tendo como consequência maiores teores e acúmulos (JÚNIOR et al., 2009).

A presença de Si na parte aérea das plantas contribui com uma melhor distribuição e previne toxidez por manganês nos tecidos, reduz efeitos adversos causados pelo excesso de nitrogênio, reduz perda de água por transpiração e aumenta a resistência à estresses bióticos (MA; TAKAHASHI, 2002). Nota-se também que os silicatos promovem a resistência das plantas às condições de estresse salino e/ou hídrico, possibilitando uma integridade e estabilidade da membrana celular (ZUCARRINI, 2008).

Tabela 6. Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso⁻¹), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo.

Dose de Si (kg ha ⁻¹)	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0	1500,0				861,2			
100	2107,4	1958,5	2308,1	2124,7	1640,4 a*	1238,1 a	1225,5 a	1368,0
200	2423,9	2354,2	2504,6*	2427,6	2242,3 a*	1776,0 b*	1669,8 b*	1896,0
400	2919,5*	2697,4*	3058,9*	2891,9	2868,0 a*	2241,5 b*	1192,7 c	2100,7
Média	2483,6 a	2336,7 a	2623,9 a		2250,2	1751,9	1362,7	
II cultivo								
0	679,5				399,2			
100	770,2	770,6	608,8	716,5	520,4 a	576,1 a*	645,9 a*	580,8
200	936,4	934,8	737,5	869,6	724,7 a*	626,3 a*	628,0 a*	659,7
400	1102,3*	1157,3*	985,7	1081,8	860,7 ab*	992,6 a*	717,1 b*	856,8
Média	936,3 ab	954,2 a	777,3 b		701,9	731,7	663,6	

I cultivo: LVd: CV: 20,3%, DMSDunnet: 983,5; DMSTukey: 488,6. RQo: CV: 15,6%, DMSDunnet: 538,0; DMSTukey: 462,9.

II cultivo: LVd: CV: 19,7%, DMSDunnet: 347,2; DMSTukey: 172,5. RQo: CV: 12,6%, DMSDunnet: 172,1; DMSTukey: 148,1.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância Wo: Wollastonita

Observa-se na Figura 10 que, no solo de textura argilosa (LVd), apesar de não haver interação significativa entre as diferentes fontes, acréscimos lineares foram obtidos em função das doses ao se avaliar a média das três fontes, com aumentos de 3,3 e 1,1 mg vaso⁻¹ de Si após o 1º e 2º cultivo, respectivamente, a cada 1,0 kg ha⁻¹ de Si adicionado (Figuras 10a e 10c).

No solo de textura arenosa (RQo), nota-se que, após ambos os cultivos, a aplicação das doses crescentes dos agregados siderúrgicos resultou em acréscimos lineares nos valores de Si acumulado na parte aérea de plantas, enquanto que modelos polinomiais quadráticos foram obtidos com o uso da Wollastonita (Figuras 10b e 10d). Os benefícios proporcionados pelos silicatos às plantas são observados com maior frequência em solos pobres em Si como é o caso do solo RQo em nosso estudo (RAFI et al., 1997). Assim, acréscimos lineares de 4,9 e 3,5 mg vaso⁻¹ de Si após o 1º cultivo e de 1,2 e 1,4 mg vaso⁻¹ de Si após o 2º cultivo foram obtidos com a aplicação das fontes CSA e VRE, respectivamente (Figuras 10b e 10d). Quanto à Wollastonita, melhores resultados após o 1º cultivo seriam obtidos com a utilização desta fonte na dose de 235 kg ha⁻¹ de Si (ponto máximo da curva) (Figura 10b) e, após o 2º cultivo, na dose de 330 kg ha⁻¹ de Si (ponto máximo da curva) (Figura 10d).

Esses resultados certificam a grande capacidade do arroz acumular Si tal como apontado por Barbosa Filho et al. (2000) e Megel e Kirkby (1987). Tal resultado reforça a

importância do emprego de fontes de Si no solo quando se cultiva essa cultura, desejando obter os benefícios desse elemento (MA; TAKAHASHI, 2007).

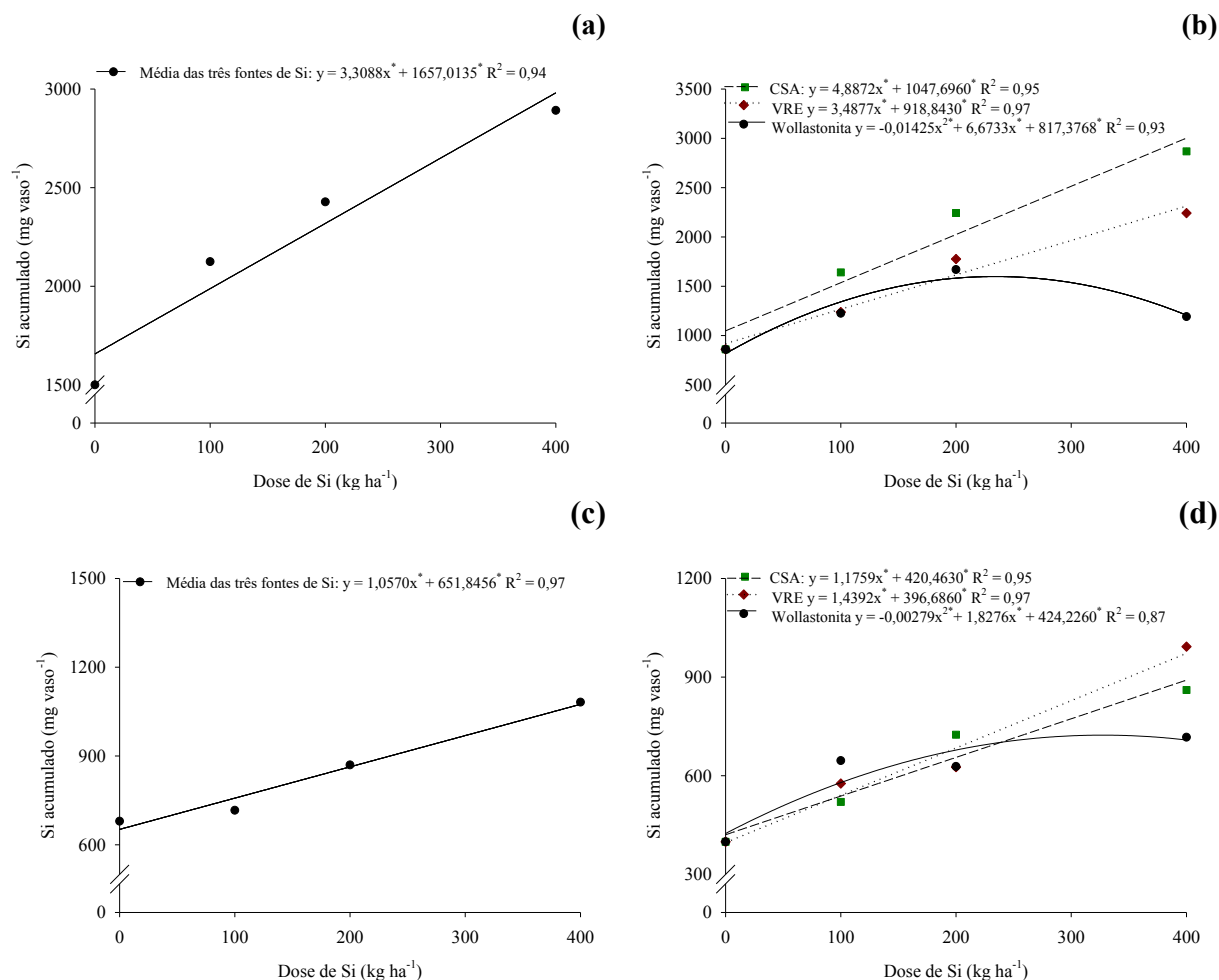


Figura 10. Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.5 Percentual de Si recuperado (%)

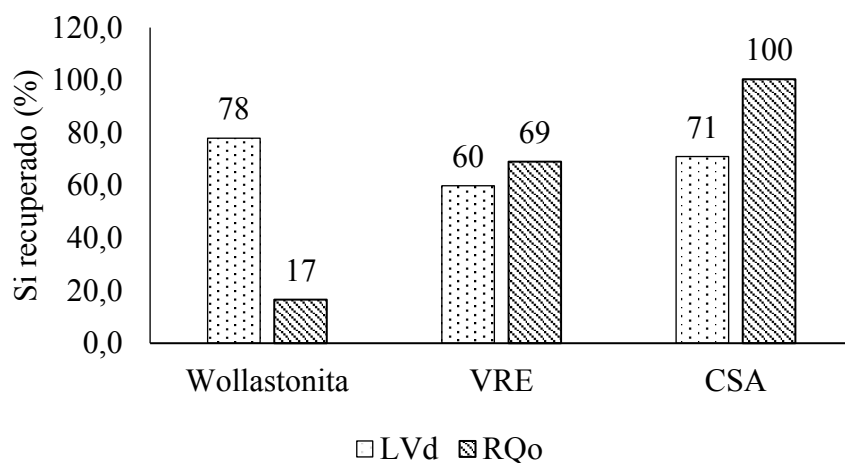
Após o primeiro cultivo de arroz, maior percentual de Si recuperado na parte aérea de plantas cultivadas em RQo foram obtidos com a aplicação das fontes VRE e CSA, com acréscimos de até 83% em relação à Wollastonita (Figura 11a). No solo de textura argilosa (LVd), a aplicação das fontes Wollastonita, VRE e CSA resultou em recuperação de Si pela parte aérea das plantas de 78, 60 e 71%, respectivamente (Figura 11a).

Após o segundo cultivo, observa-se que, para ambos os solos, maiores percentuais de Si recuperado foram obtidos com os agregados siderúrgicos, especialmente quando a fonte VRE foi utilizada.

Essa recuperação de Si pela planta é de grande relevância para a cultura do arroz, uma vez que o uso do Si na adubação tem mostrado inúmeros benefícios, incluindo aumentos na produtividade e na resistência contra pragas e doenças e redução dos efeitos do excesso de metais potencialmente tóxicos, do estresse salino e da deficiência hídrica, dentre outros (RODRIGUES et. al, 2011).

Pode-se também analisar, que os maiores percentuais de Si recuperado foram apresentados no solo de textura arenosa (RQo), divergindo dos resultados apresentados por Korndörfer et al. (1999), os quais, estudando o efeito do silicato de cálcio como fonte de Si para a cultura do arroz de sequeiro, em quatro solos representativos da região do Cerrado, verificaram maior recuperação desse elemento em solos com maiores teores de argila.

(a)



(b)

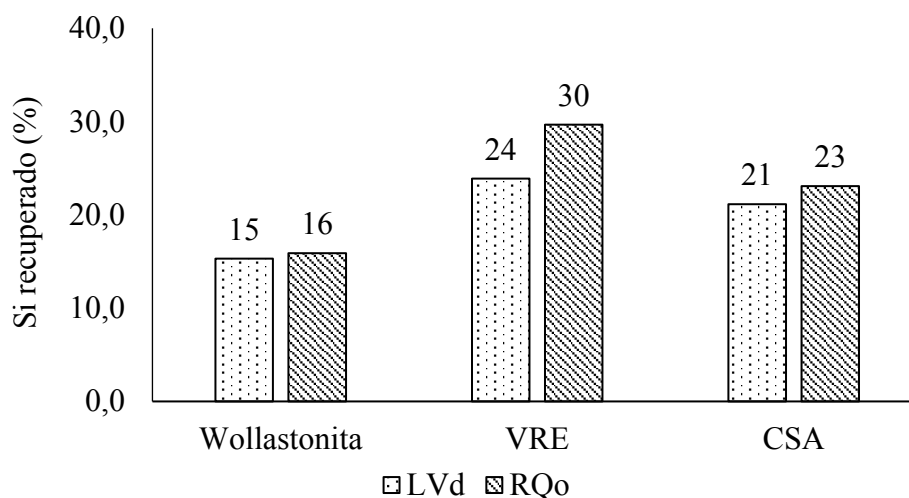


Figura 11. Percentual de Si recuperado pela parte aérea de plantas de arroz, após o primeiro (a) e o segundo cultivo (b) em LVd e em RQo, em função da aplicação das fontes VRE, CSA e Wollastonita na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si.

4.6 Si no solo (mg dm⁻³)

A aplicação das maiores doses da fonte CSA resultou em teores de Si no solo de textura argilosa (LVd), após ambos os cultivos, superiores aos observados no tratamento testemunha, com acréscimos de até aproximadamente 2,0 mg dm⁻³ de Si (Tabela 7). Quanto às diferentes fontes de Si, apesar de não serem observadas diferenças após o 1º cultivo, nota-se que, após o 2º cultivo, a fonte CSA promoveu melhores resultados quando comparada ao agregado VRE.

No solo de textura arenosa (RQo), teores de Si no solo superiores ao tratamento testemunha, após ambos os cultivos, foram obtidos com as duas maiores doses dos agregados siderúrgicos CSA e VRE (200 e 400 kg ha⁻¹ de Si) e com a maior dose de Wollastonita (400 kg ha⁻¹ de Si), com acréscimos de até 2,0 mg dm⁻³ de Si (Tabela 7).

Avaliando a disponibilidade de silício no solo, mediante a aplicação de escórias de siderurgia, CARVALHO-PUPATTO et al. (2004) e PEREIRA et al. (2007) também observaram incrementos significativos na concentração desse elemento no solo.

Independentemente da dose aplicada, os teores de Si presentes no solo foram sempre superiores no solo LVd. Estes resultados assemelham com o estudo de Faria (2000), na qual

menção como explicação, à presença maior de caulinita no solo LVd, comparada com o RQo.

De modo geral, os resultados obtidos comprovam-se o benefício da utilização de ambas as fontes de silício, uma vez que contribuem para o fornecimento deste elemento ao solo, como também a alta concentração de silicatos de Ca e Mg na escória siderúrgica revela sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Si para as plantas (KORNDÖRFER et al., 2002).

Tabela 7. Si em solo cultivado com plantas de arroz (mg dm^{-3}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo

Dose de Si (kg ha^{-1})	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0		2,8				1,5		
100	2,8	3,1	2,9	2,9	1,8	1,9	1,7	1,8
200	2,9	3,2	3,0	3,0	2,4*	2,3*	2,1	2,3
400	4,0*	3,6	3,5	3,7	3,4*	2,7*	3,3*	3,1
Média	3,2 a	3,3 a	3,2 a		2,5 a	2,3 a	2,4 a	
II cultivo								
0		3,0				1,1		
100	4,0	3,5	3,0	3,5	1,4	1,5	1,3	1,4
200	4,3*	3,4	3,8	3,9	1,8*	1,7*	1,6	1,7
400	4,7*	4,0	5,3*	4,6	1,9*	1,8*	2,3*	2,0
Média	4,4 a	3,6 b	4,0 ab		1,7 a	1,6 a	1,7 a	

I cultivo: LVd: CV: 17,4%, DMSDunnet: 1,1; DMSTukey: 0,6. RQo: CV: 14,1%, DMSDunnet: 0,7; DMSTukey: 0,3.
II cultivo: LVd: CV: 16,0%, DMSDunnet: 1,3; DMSTukey: 0,6. RQo: CV: 16,2%, DMSDunnet: 0,5; DMSTukey: 0,3.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. Wo: Wollastonita

Quanto aos ajustes de modelos de regressão, não foram observadas interações significativas entre as fontes e as doses de Si para os teores de Si em ambos os solos e cultivos (Figura 12). Entretanto, ao se avaliar as médias das três fontes, acréscimos lineares de 0,2 e 0,4 mg dm^{-3} de Si após o 1º cultivo são obtidos a cada 100 kg ha^{-1} de Si adicionados aos solos LVd e RQo, respectivamente (Figuras 12a e 12b). Após o 2º cultivo, a cada 100 kg ha^{-1} de Si, observaram-se acréscimos lineares de 0,4 mg dm^{-3} em LVd e de 0,2 mg dm^{-3} em RQo (Figuras 12c e 12d).

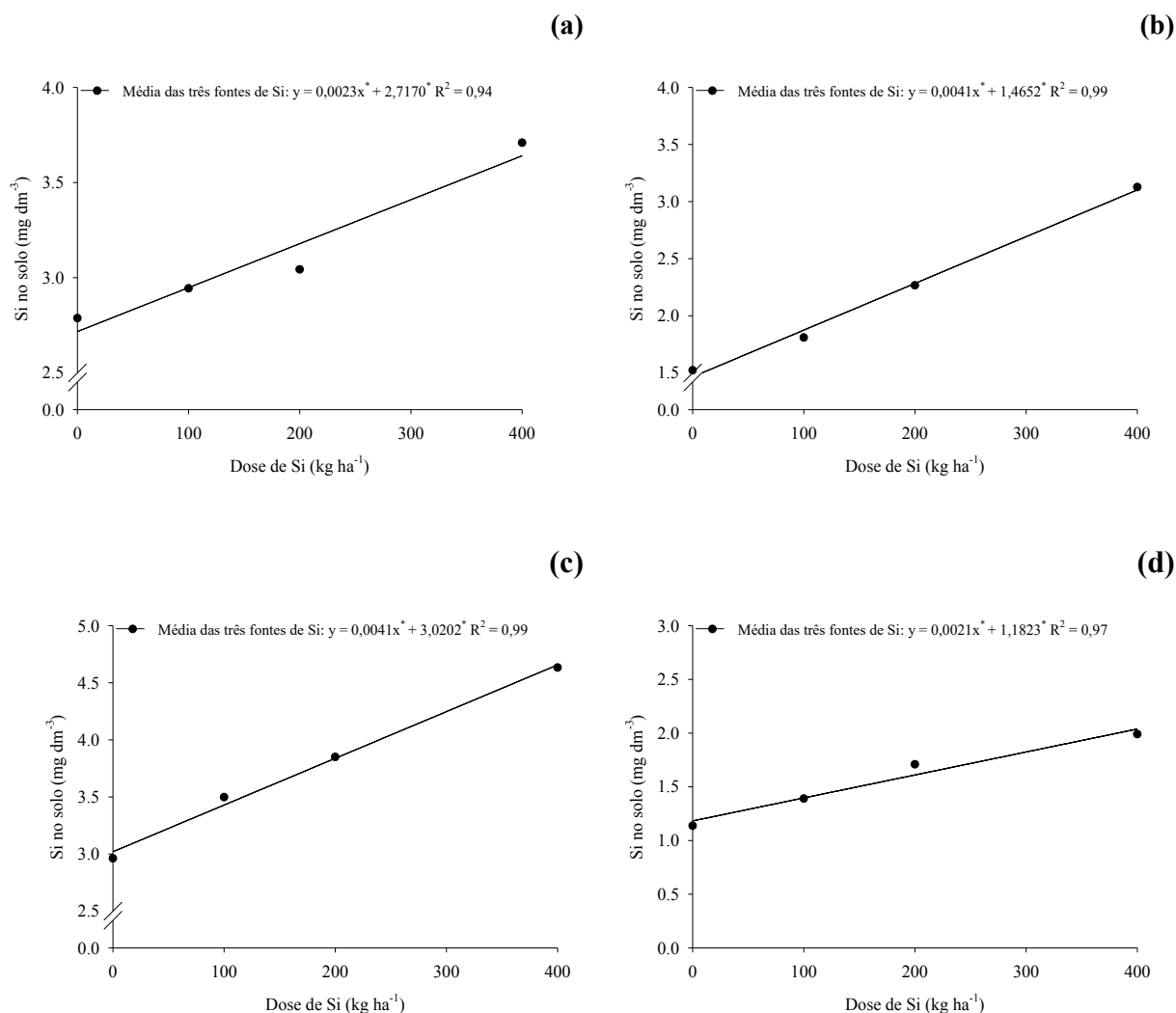


Figura 12. Si em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.7 Ca acumulado na parte aérea (mg vaso⁻¹)

De modo geral, a aplicação das diferentes fontes e doses não resultaram em diferenças nos valores de Ca acumulado na parte aérea de plantas cultivadas no solo de textura argilosa (LVd) após ambos os cultivos (Tabela 8).

Por outro lado, a aplicação das maiores doses dos agregados siderúrgicos nos solos de textura arenosa (RQo) resultou em valores de Ca acumulado superiores aos obtidos com o tratamento Wollastonita, com acréscimos de até 230 e 160 mg vaso⁻¹ de Ca após o 1º e 2º cultivo, respectivamente. Nota-se ainda que, após ambos os cultivos, a fonte VRE promoveu maior acúmulo de Ca quando comparada ao tratamento testemunha, resultado também observado com a fonte CSA, mas, neste caso, somente após o 2º cultivo.

Tabela 8. Ca acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso^{-1}), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo

Dose de Si (kg ha^{-1})	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0		270,4				254,0		
100	313,6	282,1	309,5	301,7	320,7 a	296,4 a	309,5 a	308,8
200	359,8	323,8	294,5	326,0	314,8 a	355,6 a*	200,1 b	290,1
400	319,1	369,9	285,7	324,9	291,0 a	340,6 a*	106,7 b	246,1
Média	330,8 a	325,3 a	296,6 a		308,8	330,9	205,4	
II cultivo								
0		175,8				97,0		
100	203,4	196,5	202,5	200,8	135,0 a	149,3 a*	117,0 a	133,8
200	212,6	216,7	221,9	217,1	179,0 a*	214,7 a*	110,5 b	168,1
400	234,7	263,5	193,6	230,6	176,8 b*	270,4 a*	106,7 c	184,6
Média	217,1 a	230,6 a	206,8 a		163,6	211,5	111,4	

I cultivo: LVd: CV: 15,8%, DMSDunnet: 100,5; DMSTukey: 49,9. RQo: CV: 12,4%, DMSDunnet: 70,6; DMSTukey: 60,8.

II cultivo: LVd: CV: 24,5%, DMSDunnet: 105,8; DMSTukey: 52,6. RQo: CV: 15,1%, DMSDunnet: 47,9; DMSTukey: 41,2.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância Wo: Wollastonita.

A aplicação das doses crescentes de Si no solo de textura argilosa (LVd) (média das três fontes – interação não significativa) resultou em modelo polinomial quadrático quanto aos valores de Ca acumulado após o 1º cultivo, cujos melhores resultados seriam obtidos com a aplicação de 302 kg ha^{-1} de Si (ponto máximo da curva) (Figura 13a). Após o 2º cultivo, acréscimos lineares de $0,1 \text{ mg vaso}^{-1}$ de Ca são obtidos a cada $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Si adicionado (Figura 13c).

No solo de textura arenosa, a aplicação das diferentes doses das fontes resultou em modelos polinomiais quadráticos quanto ao Ca acumulado após o 1º cultivo, cujos melhores resultados seriam obtidos nas doses de 230, 293 e 30 kg ha^{-1} de Si através das fontes CSA, VRE e Wollastonita, respectivamente (Figura 13b). Após o 2º cultivo, acréscimos lineares de $0,4 \text{ mg vaso}^{-1}$ de Ca foram obtidos a cada $25,5 \text{ mg vaso}^{-1}$ da fonte VRE (dose da fonte aplicada para a disponibilização de 1 kg ha^{-1} de Si), enquanto que, quando utilizada a fonte CSA, modelo quadrático foi obtido, sendo que melhores resultados seriam observados na dose de 313 kg ha^{-1} de Si (ponto máximo da curva) (Figura 13d).

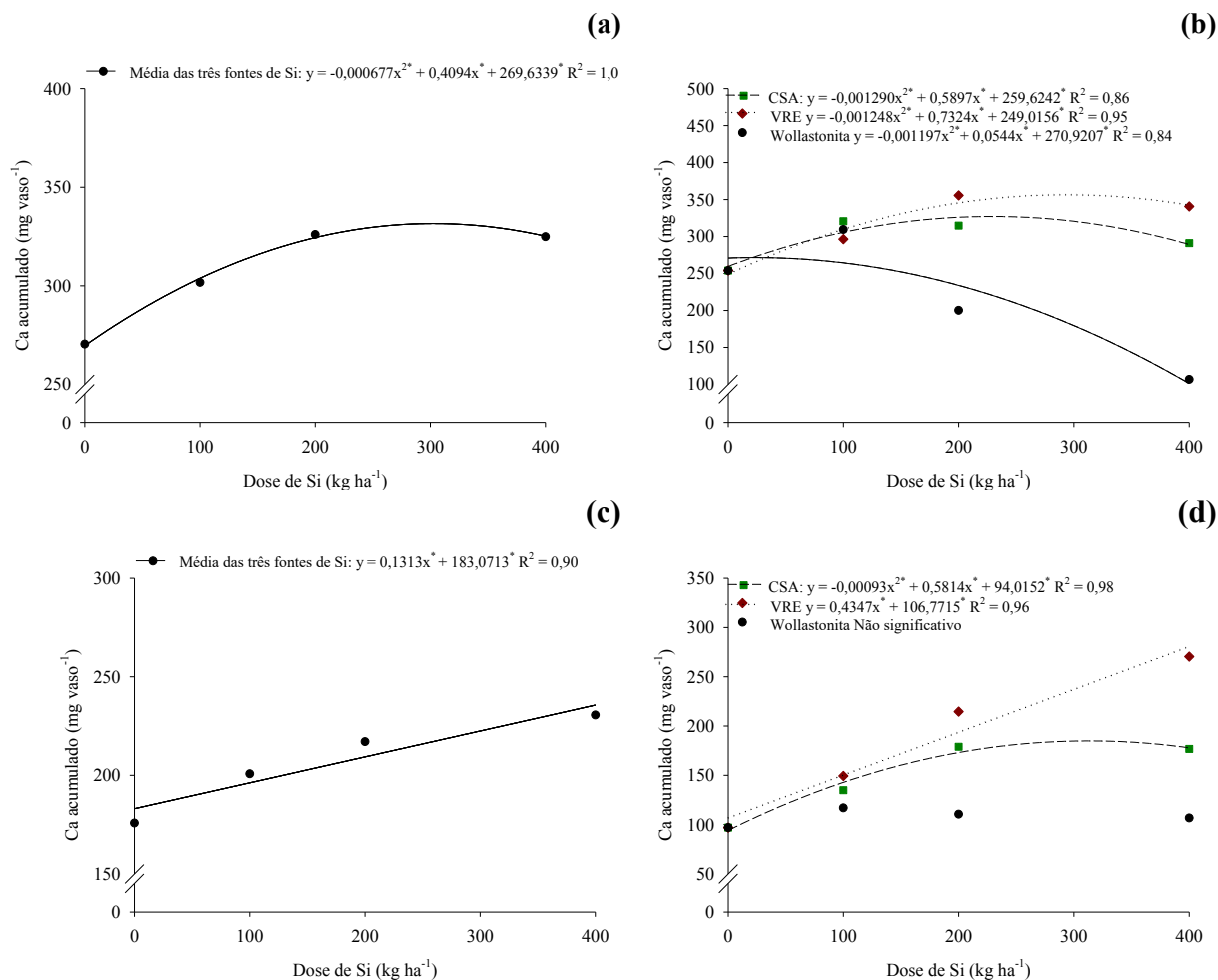


Figura 13. Ca acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.8 Ca no solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)

Não foram observadas diferenças nos teores de Ca em ambos os solos após o primeiro cultivo de plantas de arroz (Tabela 9). Por outro lado, observa-se que, após o 2º cultivo, maiores teores de Ca no solo foram obtidos com as aplicações dos agregados siderúrgicos. Dessa forma, acréscimos de até $0,6 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo de textura argilosa (LVd) e de $1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo de textura arenosa (RQO) foram obtidos ao se comparar os agregados siderúrgicos ao tratamento testemunha e à Wollastonita (Tabela 9).

A obtenção de maiores acúmulos de Ca no solo após o primeiro cultivo, pode ser explicado, possivelmente pela solubilidade das fontes utilizadas. Geralmente, as fontes de Si são pouco solúveis e, portanto, sua reação no solo ocorre de maneira mais lenta, conforme estudado por Filho e Prabhu (2002).

Vidal e Prado (2011) encontraram resultados positivos com a utilização de escória siderúrgica, concluindo que a aplicação dessa fonte resultou em maior concentração de Ca no solo.

Tabela 9. Ca em solo cultivado com plantas de arroz (cmolc/dm³), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo

Dose de Si (kg ha ⁻¹)	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0		2,6				2,4		
100	2,6	2,7	2,6	2,6	2,4	2,5	2,4	2,5
200	2,6	2,3	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
400	2,4	2,4	2,2	2,3	2,4	2,8	2,4	2,5
Média	2,5 a	2,5 a	2,5 a		2,4 a	2,6 a	2,4 a	
II cultivo								
0		1,5				1,7		
100	1,4 b	2,0 a*	1,7 b	1,7	2,3*	2,3*	1,9	2,1
200	2,0 a*	2,0 a*	1,7 b	1,9	2,5*	2,3*	1,8	2,2
400	2,0 a*	2,0 a*	1,4 b	1,8	2,4*	2,6*	1,6	2,2
Média	1,8	2,0	1,6		2,4 a	2,4 a	1,7 b	

I cultivo: LVd: CV: 7,4%, DMSDunnet: 0,4; DMSTukey: 0,2. RQo: CV: 11,2%, DMSDunnet: 0,6; DMSTukey: 0,3.

II cultivo: LVd: CV: 10,9%, DMSDunnet: 0,4; DMSTukey: 0,3. RQo: CV: 11,4%, DMSDunnet: 0,5; DMSTukey: 0,2.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. Wo: Wollastonita

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses crescentes das fontes CSA, VRE e Wollastonita nos teores de Ca no solo após o 1º cultivo de arroz (Figuras 13a e 13b). Após o 2º cultivo, modelos polinomiais quadráticos foram obtidos com a aplicação de doses crescentes das fontes VRE e Wollastonita em solo de textura argilosa (LVd), cujos melhores resultados seriam obtidos nas doses de 270 e 180 kg ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 13c). No solo de textura arenosa (RQo), como não foi observada interação entre as fontes e as doses, o modelo de regressão foi obtido com a média das três fontes, sendo que, de modo geral, maiores teores de Ca no solo seriam obtidos com a aplicação dessas fontes na dose de 290 kg ha⁻¹ de Si (Figura 13d).

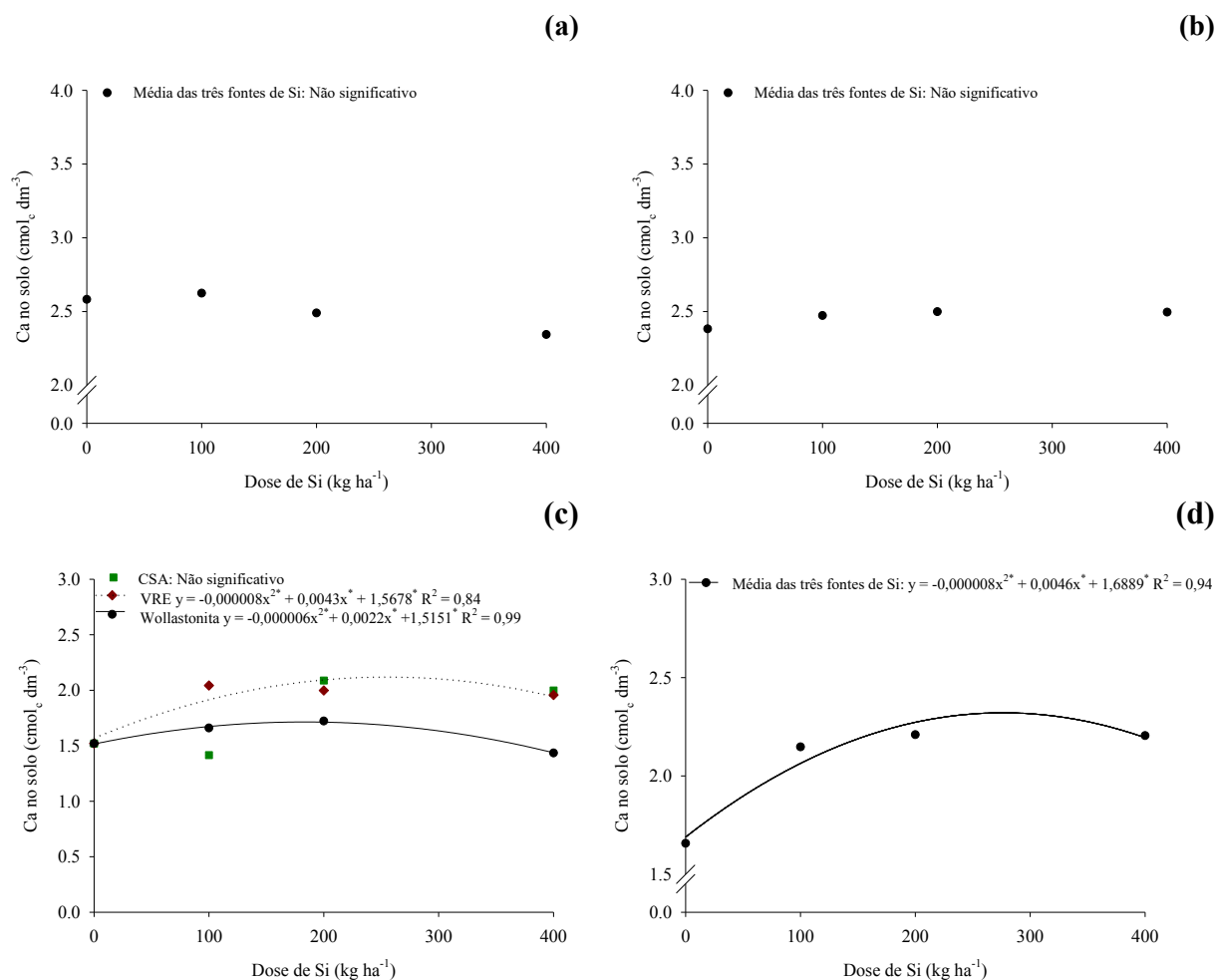


Figura 14. Ca em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.9 Mg acumulado na parte aérea de plantas (mg vaso⁻¹)

A aplicação da maior dose do agregado siderúrgico VRE em LVd resultou em valor de Mg acumulado na parte aérea de plantas, após o 1º cultivo, superior ao observado no tratamento testemunha, com acréscimos de até 150 mg vaso⁻¹ de Mg (Tabela 10). Após o 2º cultivo, valores superiores ao tratamento testemunha foram obtidos com as duas maiores doses de Wollastonita, com acréscimos de até 74 mg vaso⁻¹ de Mg (Tabela 10). Ademais, nota-se que, para este mesmo solo e cultivo, a fonte Wollastonita promoveu maior acúmulo de Mg na parte aérea quando comparada à fonte VRE.

No solo de textura arenosa (RQo), observa-se que, após o 1º cultivo, ambos os agregados siderúrgicos resultaram em maiores valores de Mg acumulado na parte aérea de plantas quando comparados à Wollastonita, todos aplicados na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si

(Tabela 10). Após o 2º cultivo, a aplicação das fontes de Si resultou em valores de Mg acumulado superiores ao tratamento testemunha, independentemente da dose utilizada. Além disso, nota-se que, quando aplicadas na dose de 400 kg ha⁻¹ de Si, a fonte VRE foi superior às demais.

Este resultado é bastante satisfatório, uma vez que o Mg é um componente da molécula de clorofila e ativador de diversas reações enzimáticas. Assim, vários processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas podem ser alterados tanto pela deficiência quanto pelo excesso de Mg (HERMANS et al., 2005).

Segundo Huber (1981), a intensidade de doenças, dependendo da interação patógeno-hospedeiro, pode ser menor ou maior em função da concentração foliar de Mg. No trabalho desenvolvido por Moreira et. al. (2013), concluíam que a alta concentração foliar de Mg é eficiente no controle da mancha parda, pois aumenta a resistência do arroz à infecção do *B. oryzae*, principalmente por meio do incremento das atividades das enzimas que atuam na defesa das plantas.

Tabela 10. Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz (mg vaso⁻¹), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo

Dose de Si (kg ha ⁻¹)	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0		214,2				211,0		
100	265,2	237,8	257,8	253,6	270,5 a	176,9 b	265,2 a	237,2
200	301,4	304,4	273,9	293,2	252,6 a	229,8 a	217,7 a	233,4
400	290,9	365,6*	261,6	306,0	292,8 a	239,5 a	131,5 b	221,3
Média	285,8 a	302,6 a	264,4 a		271,6	215,4	204,8	
II cultivo								
0		123,7				44,4		
100	162,0	121,8	141,0	141,6	65,0 a	82,4 a*	69,3 a*	72,2
200	148,4	157,1	197,7*	167,7	76,4 a*	88,9 a*	83,6 a*	83,0
400	150,7	145,2	197,5*	164,4	81,9 c*	154,2 a*	108,9 b*	115,0
Média	153,7 ab	141,4 b	178,7 a		74,4	108,5	87,3	

I cultivo: LVd: CV: 17,9%, DMSDunnet: 101,2; DMSTukey: 50,3. RQo: CV: 17,8%, DMSDunnet: 83,0; DMSTukey: 71,4.

II cultivo: LVd: CV: 22,8%, DMSDunnet: 71,6; DMSTukey: 35,6. RQo: CV: 14,2%, DMSDunnet: 24,7; DMSTukey: 21,3.

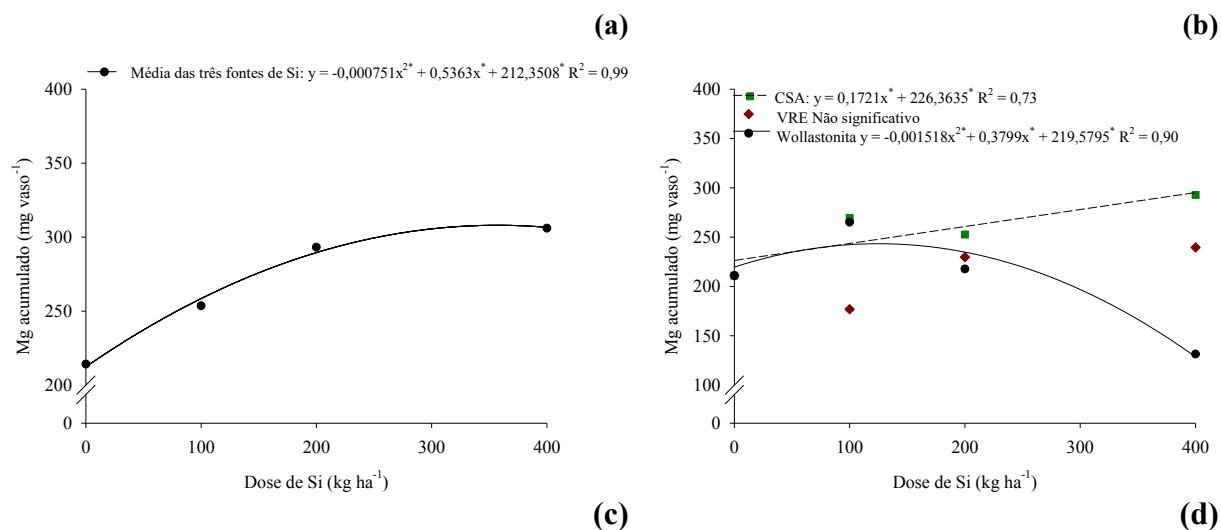
Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância Wo: Wollastonita

Como não foi observada interação significativa entre as fontes e doses quanto aos valores de Mg acumulado em plantas de arroz cultivadas em LVd, após o 1º e 2º cultivo, os

ajustes de modelos de regressão foram obtidos com as médias das três fontes, cujos melhores resultados seriam obtidos com a aplicação de aproximadamente 360 e 310 kg ha⁻¹ de Si após o 1º e 2º cultivo, respectivamente (ponto máximo das curvas) (Figuras 15a e 15c).

No solo de textura arenosa, acréscimos lineares de 0,2 e 0,1 mg vaso⁻¹ de Mg após o 1º e 2º cultivo, respectivamente, foram obtidos a cada 29,6 mg vaso⁻¹ da fonte CSA (dose da fonte aplicada para a disponibilização de 1 kg ha⁻¹ de Si) (Figura 15b e 15d).

Quanto ao agregado VRE, modelo de regressão significativo foi obtido somente após o 2º cultivo, com acréscimos lineares de 0,3 mg vaso⁻¹ de Mg a cada 25,5 mg vaso⁻¹ desta fonte (dose da fonte aplicada para a disponibilização de 1 kg ha⁻¹ de Si) (Figura 15d). Após o 1º cultivo, modelo polinomial quadrático foi observado com a aplicação de doses crescentes da Wollastonita, com maior acúmulo de Mg na dose de 125 kg ha⁻¹ de Si (ponto máximo da curva) (Figura 15b), enquanto que, após o 2º cultivo, acréscimos lineares de 0,2 mg vaso⁻¹ de Mg foram obtidos a cada 20,8 mg vaso⁻¹ desta fonte (dose da fonte aplicada para a disponibilização de 1 kg ha⁻¹ de Si) (Figura 15d).



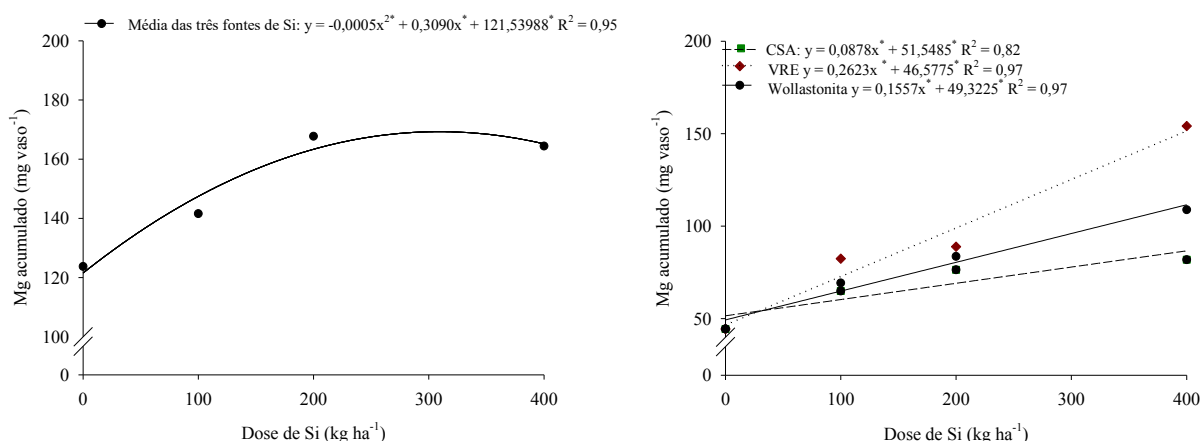


Figura 15. Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

4.10 Mg no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$)

De modo geral, maiores teores de Mg no solo de textura arenosa, após ambos os cultivos, foram obtidos com a utilização da Wollastonita, com acréscimos de até $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg em relação às demais fontes (Tabela 11). Resultado semelhante foi obtido quanto aos teores de Mg no solo de textura argilosa após o 1º cultivo, uma vez que a aplicação Wollastonita resultou em teores superiores às demais fontes. Por outro lado, não foram observadas diferença entre os tratamentos quanto aos teores de Mg em RQo após o 2º cultivo de plantas de arroz.

Tabela 11. Mg em solo cultivado com plantas de arroz ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), após dois cultivos consecutivos, em função da aplicação de doses crescentes de Si em LVd e em RQo

Dose de Si (kg ha^{-1})	LVd				RQo			
	CSA	VRE	Wo	Média	CSA	VRE	Wo	Média
I cultivo								
0	0,5				0,4			
100	0,4 b	0,5 ab	0,6 a	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
200	0,4 b	0,5 ab	0,6 a	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
400	0,5 b	0,5 b	0,8 a*	0,6	0,5	0,6	0,9*	0,7
Média	0,4	0,5	0,6		0,5 b	0,5 b	0,7 a	
II cultivo								
0	0,2				0,3			
100	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
200	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5*	0,4
400	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6*	0,5
Média	0,2 a	0,3 a	0,2 a		0,4 b	0,4 b	0,5 a	

I cultivo: LVd: CV: 11,9%, DMSDunnet: 0,1; DMSTukey: 0,1. RQo: CV: 19,5%, DMSDunnet: 0,2; DMSTukey: 0,1.

II cultivo: LVd: CV: 16,2%, DMSDunnet: 0,1; DMSTukey: 0,1. RQo: CV: 14,5%, DMSDunnet: 0,1; DMSTukey: 0,06.

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. (*) Diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. Wo: Wollastonita

A aplicação de doses crescentes de Wollastonita em LVd resultou em acréscimos lineares de $0,06 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo, após o 1º cultivo, a cada 100 kg ha^{-1} de Si adicionado através desta fonte (Figura 16a). Por outro lado, não foi obtido ajuste de modelo de regressão significativo que demonstre o efeito do aumento das doses das fontes avaliadas nos teores de Mg no solo LVd após o 2º cultivo (Figura 16c).

No solo de textura arenosa, apesar de não observada interação entre as fontes e doses, acréscimos lineares nos teores de Mg no solo foram obtidos ao se avaliar as médias das três fontes, com acréscimos de $0,06$ e $0,04 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo após o 1º e 2º cultivo, respectivamente (Figura 16b e 16d).

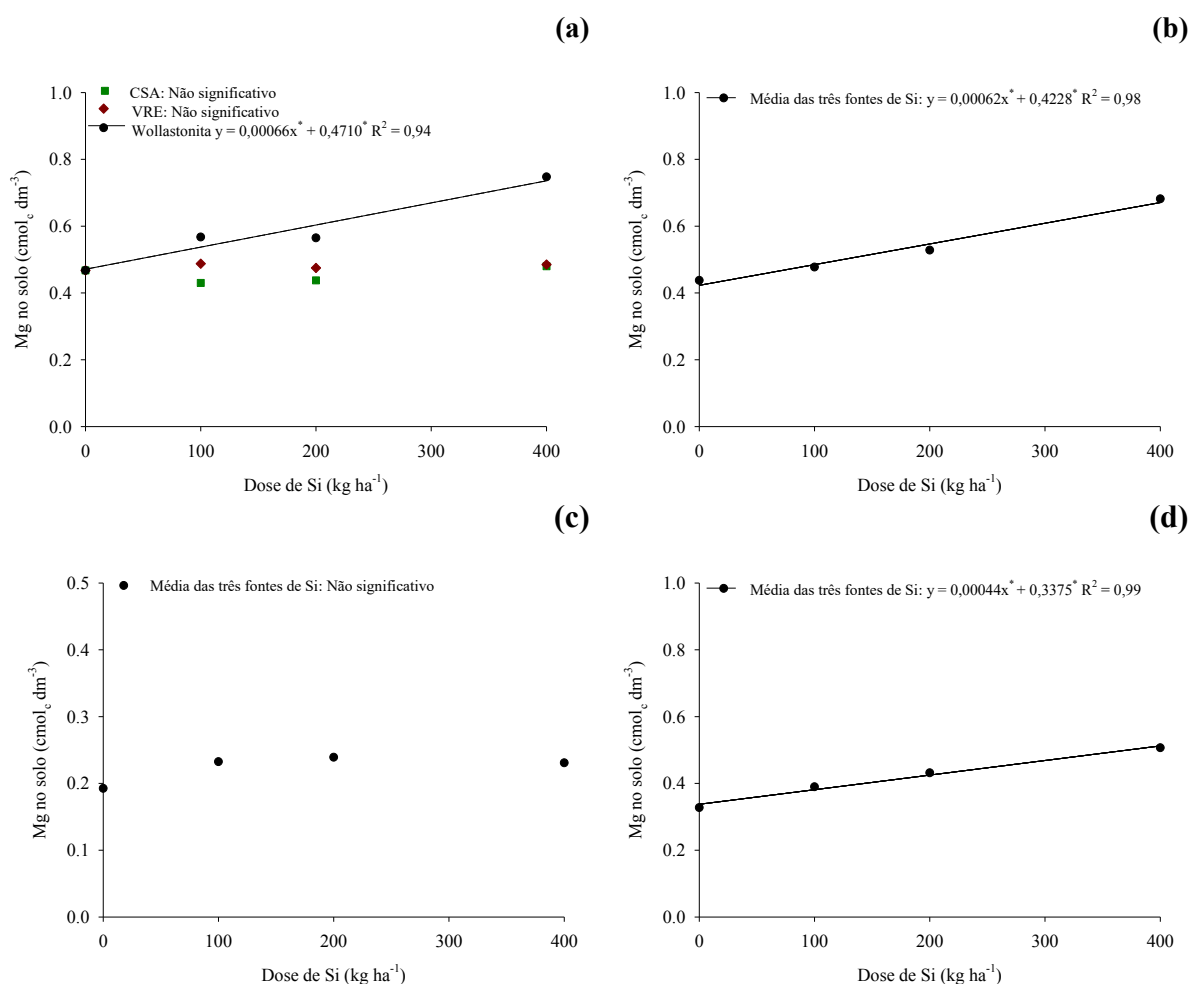


Figura 16. Mg em solo cultivado com plantas de arroz após o primeiro cultivo em LVd (a) e em RQo (b) e após o segundo cultivo em LVd (c) e em RQo (d) em função da aplicação de doses crescentes de Si

5 CONCLUSÃO

A aplicação das maiores doses dos subprodutos da siderurgia em solo de textura arenosa resultou em valores de matéria seca da parte aérea de plantas de arroz superiores ao tratamento testemunha e à fonte padrão Wollastonita após ambos os cultivos.

Os agregados siderúrgicos apresentaram índice de eficiência agronômica semelhante à Wollastonita em solo de textura argilosa e superior à fonte padrão em solo de textura arenosa.

As maiores doses dos agregados siderúrgicos em solo de textura arenosa promoveram maior acúmulo de Si, Ca e Mg na parte aérea de plantas de arroz quando comparados ao tratamento testemunha e à Wollastonita.

6 REFERÊNCIAS

- MARCHEZAN, E., VILLA, S. C. C., MARZARI, V., KORNDORFER, G. H., & do Santos, F. M. Aplicação de silício em arroz irrigado: efeito nos componentes da produção. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 3, 2004.
- GOMES, C. F., MARCHETTI, M. E., NOVELINO, J. O., MAUAD, M., & ALOVISI, A. M. T. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 531-538, 2011.
- FARIA JÚNIOR, L. A. D., CARVALHO, J. G. D., PINHO, P. J. D., BASTOS, A. R. R., & FERREIRA, E. V. O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1034-1040, 2009.
- RAMOS, L. A., KORNDÖRFER, G. H., & NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, v. 67, p. 751-757, 2008.
- GAUR, Shweta; KUMAR, Jitendra; KUMAR, Dharmendra; CHAUHAN, Devendra Kumar; PRASAD, Sheo Mohan; SRIVASTAVA, Prabhat Kumar. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 202, n. March, p. 110885, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110885. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110885>. Acesso em 15/07/2022.
- MENEGALE, M. D. C., CASTRO, G. S. A., & MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.
- ALVES, R. B. R., FERREIRA, I. M., FIGUEIREDO, T. A. B. R. A., & da Cruz, R. L. O uso agrícola de escória de siderurgia em Latossolo vermelho distrófico típico. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4506-4516, 2017.
- MAUAD, M., COSTA CRUSCIOL, CA, & GRASSI FILHO, H. Produção de massa seca e nutrição de cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 939-947, 2011.
- FREITAS, L. B. D., COELHO, E. M., MAIA, S. C. M., & SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 58, p. 262-267, 2011.

VIDAL, A. D. A., & PRADO, R. D. M. Aplicação de escória siderúrgica calcário e ureia em latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 264-272, 2011.

BARBOSA FILHO, M. P., & PRABHU, A. S. Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz. **Embrapa Acre-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2002.

REIS, M. A. D., ARF, O., SILVA, M. G. D., SÁ, M. E. D., & BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 37-43, 2008.

ZANÃO JÚNIOR, L. A., FONTES, R. L. F., & ÁVILA, V. T. D. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 203-206, 2009.

SOUSA, R. T. X. D., KORNDÖRFER, G. H., & WANGEN, D. R. B. Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, p. 669-676, 2010.

RODRIGUES, F. D. A., OLIVEIRA, L. D., KORNDÖRFER, A. P., & KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações agronomicas**, v. 134, n. 1, p. 14-20, 2011.

SANTOS, D., KORNDÖRFER, G. H., SANTOS, A. P., & SILVA, J. C. Eficiência agronômica de fontes contendo silício avaliado através de método biológico. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

BONFADA, E.B. **Efeito da adubação com silicato de cálcio e magnésio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 40 f., 2014.

FARIA, R. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 56 f., 2000.

KORNDÖRFER, G.H., ARANTES, V.A., CORRÊA, G.F., & SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999.

ROCHA, J. G. **Efeitos do silício na energética e respostas a estresses em abacaxizeiro (*Ananas comosus* L., Merrill) via modulação das bombas de prótons**. Tese (Doutorado em

Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 81 f., 2017.

SOBRAL, M. F., DO NASCIMENTO, C. W., DA CUNHA, K. P., FERREIRA, H. A., SILVA, A. J., & SILVA, F. B. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 867-872, 2011.

PEREIRA, H.S., KORNDÖRFER, G.H., MOURA, W.F., & CORRÊA, G.F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 265-274, 2003.

BARBOSA FILHO, M.P., SNYDER, G. H., PRABHU, A.S., DATNOFF, L.E., & Korndörfer, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações Agronômicas**, n. 89, p. 1-6, 2000.

BRAIT, M. A. H. **Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 108 f., 2008.

MOREIRA, W. R., RESENDE, R. S., RODRIGUES, F. Á., ANDRADE, C. C. L., & NASCIMENTO, C. W. A. Influência do magnésio na resistência do arroz à mancha parda. **Bragantia**, v. 72, p. 154-161, 2013.

JÚNIOR, L.A.F., CARVALHO, J.G., PINHO, P.J., BASTOS, A.R.R., & FERREIRA, E.V.O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 89, p. 1034-1040, 2009.