

DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO EM DIFERENTES FONTES

AVAILABLE SILICON IN DIFFERENT SOURCES

Hamilton Seron PEREIRA¹; Gaspar Henrique KORNDORFER²; Caroline Borges dos REIS³; Gilberto Fernandes CORREA²

RESUMO: Um método de extração de silício (Si) em fontes contendo este elemento foi desenvolvido visando quantificar o Si potencialmente aproveitável pelas plantas. O método baseia-se na dissolução dos materiais contendo Si em meio alcalino usando $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ como extrator. Para este estudo foram utilizados diferentes tempos de agitação (1, 3, 6 e 12 horas), diferentes concentrações do extrator ($10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$, $30 + 48 \text{ g dm}^{-3}$, $50 + 80 \text{ g dm}^{-3}$ e $100 + 160 \text{ g dm}^{-3}$ de $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ respectivamente) e diferentes tempos de contato da solução extratora com o fertilizante (1h, 1, 2, 5, 9, 14 e 21 dias), para avaliar a melhor condição de extração. Simultaneamente, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, com o cultivo de arroz inundado e com a aplicação de 125 kg ha^{-1} de Si total, utilizando 12 diferentes fontes de Si. O tempo de agitação de 3 horas se mostrou superior estatisticamente aos demais, mas o tempo de agitação não foi fundamental na determinação do Si quando se comparou sua liberação em função do tempo de repouso. As concentrações de $10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$ e $30 + 48 \text{ g dm}^{-3}$ de $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ mostraram-se as mais promissoras na extração de Si; por isso a menor concentração ($10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$) foi escolhida para avaliar as fontes quanto ao tempo de repouso. Durante o período de repouso, verificou-se que todas as fontes apresentaram aumento na liberação de Si ao longo do tempo, sendo que entre os dias 5 e 9 foi o período que apresentou melhor correlação entre o Si extraído pelo arroz e o Si recuperado na análise das várias fontes. A extração de Si com $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ das fontes contendo Si representa elevado grau de confiabilidade do potencial de liberação deste elemento no solo e aproveitamento pelas plantas.

UNITERMOS: Extração de silício, Arroz, Método de extração, Silicatos, Escórias.

INTRODUÇÃO

Várias escórias têm sido sugeridas para uso na agricultura com o objetivo de suprir as plantas com silício (Si), principalmente para as culturas de arroz, cana-de-açúcar e pastagens (SAVANT et al., 1999, BARBOSA FILHO et al, 2000). A determinação do Si disponível em fertilizantes e corretivos não é feita pelos laboratórios no Brasil, nem tampouco consta da Legislação Brasileira de Fertilizantes (BRASIL, 1982). No Japão, a extração química com ácido clorídrico (HCl) $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ tem sido, tradicionalmente, usada na avaliação do Si “disponível” em escórias (NATIONAL INSTITUTE OF AGRO-ENVIRONMENTAL SCIENCES - NIAES, 1987). Todavia, este método de extração freqüentemente falha na estimativa da quantidade de Si “disponível” em escórias

(TAKAHASHI, 1981; KATO; OWA, 1997). Recentemente, foram sugeridos outros métodos de extração tais como a resina trocadora de cátion. Este método, até o momento, é o que vem apresentando as melhores correlações entre a quantidade de Si extraída e a quantidade recuperada pela planta (KATO; OWA, 1997). Um método que vem apresentando boas correlações entre a avaliação da solubilidade dos silicatos e a quantidade de Si recuperada pelas culturas é o da “lixiviação” (SNYDER, 2001) porém, além de ser trabalhoso, não quantifica o Si solúvel, apenas estima o Si “disponível”.

O Si em solução comporta-se como um ácido fraco (H_4SiO_4), de tal forma que mesmo em pH 7,0 apenas 2 mg kg^{-1} do ácido H_4SiO_4 está ionizado na forma carregada negativamente, H_3SiO_4^- sendo que o grau de ionização aumenta com a elevação do pH (MCKEAGUE; CLINE,

¹ Adjunto, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

² Professor Titular, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia.

³ Graduando do curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia.

Received 05/02/04

Accept 14/06/04

1963). O Na_2CO_3 devido ao seu pH alcalino, já vem sendo usado para determinar algumas formas de Si solúvel (CONLEY et al., 1993). Este sal também é usado para solubilizar a sílica da argila resultante do ataque sulfúrico (VETTORI, 1964), mas não apresenta bons resultados de correlação entre o Si “disponível” no solo e o absorvido

pelas plantas. Segundo Vogel (1981), os silicatos de metais alcalinos, quando hidrolisados, possuem reação alcalina elevando o pH. Portanto, em meio alcalino, estes materiais possuem menor solubilidade, a menos que se forneça ao meio uma fonte de prótons (NH_4^+). Assim sendo, a reação teoricamente pode tomar o seguinte caminho:



Devido à necessidade de implementar estudos e estabelecer métodos confiáveis para avaliar o potencial dos fertilizantes em fornecer Si às plantas, estudou-se a dissolução do Si, presente em diferentes fontes, com o extrator de carbonato de sódio + nitrato de amônio, em diferentes concentrações, tempo de agitação e de reação. A extração do Si nas fontes foi avaliada, correlacionando-se o Si extraído com o Si acumulado pelas plantas de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

As fontes contendo Si foram selecionadas e caracterizadas quanto à sua origem, teores totais de Si extraído com HF, Ca, Mg, PN (Poder de Neutralização) calculado e determinado, conforme apresentados no Quadro 1. Como material padrão para comparação entre as várias fontes de Si, utilizou-se a Wollastonita, produto mundialmente utilizado em estudos com Si e que apresenta um alto grau de pureza (CaSiO_3).

Quadro 1. Caracterização química e origem das fontes contendo Si utilizadas no trabalho.

MATERIAL	ORIGEM	Si	CaO	MgO	PN ⁽¹⁾	PN
		Total	Calculado		Determinado	
		g kg ⁻¹			E.%CaCO ₃ ⁽²⁾	
Wollastonita	Vanzil	234,6	424,3	1,9	76,4	73,5
Escória de alto-forno	Silifétil	179,1	301,4	75,2	72,6	70,0
Escória de LD	Silifétil	57,3	409,4	72,7	91,3	90,5
Escória de LD	Rhodia (EUA)	215,2	435,0	6,8	79,6	63,0
MB-4	MIBASA	223,8	22,3	191,4	51,5	33,0
Escória de alto-forno	CSN	155,8	425,3	52,3	89,1	87,5
Escória de LD	CSN	50,9	281,9	76,1	69,3	96,0
Escória de AOD	Acesita	47,1	564,2	57,8	115,3	118,5
Escória de LD	Belgo Mineira	81,1	395,2	95,5	94,4	102,5
Escória forno elétrico	Belgo (Siderme)	73,9	257,3	125,7	77,2	95,0
Escória de aço inox	Recmix	108,4	367,0	94,3	89,1	87,5
Escória de LD	Açominas	52,2	276,3	28,5	56,5	91,5
Cinza de xisto	Petrobrás SIX	291,0	23,5	18,8	4,7	4,7
Xisto	Petrobrás SIX	247,3	20,0	16,0	4,0	3,9
Serpentinito calcinado	SAMA	108,4	367,0	94,3	89,1	87,5
Serpentinito fosfático	SAMA	52,2	276,3	28,5	56,5	91,5

(1) PN - Poder de Neutralização equivalente em CaCO_3

(2) %E.CaCO₃ = percentual equivalente em CaCO_3 .

Buscando-se determinar qual o protocolo mais adequado de extração de Si usando o $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$

como extrator, as seguintes variações foram testadas:

a) Tempo de agitação: frascos contendo 0,1 g do material

(fontes) e 50 cm³ da solução extratora (Na₂CO₃ 50 g dm⁻³ + NH₄NO₃ 80 g dm⁻³) foram agitados por períodos de 1, 3, 6 e 12 h a 60 rpm. Após a agitação, o extrato foi filtrado e 1 cm³ da solução foi retirada para a determinação do Si por colorimetria. Foram feitas 4 repetições para cada tempo usando-se três fontes (Wollastonita, Recmix e Rhodia). Os dados foram analisados em esquema fatorial (3 fontes x 4 tempo de agitação) e a comparação de médias feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

b) Concentração do extrator e tempo de contato com o material: para avaliar a concentração do extrator na solubilização do Si, 0,1 g de cada fonte foi misturado a 50 cm³ de carbonato de sódio (Na₂CO₃) nas concentrações de 10, 30, 50 e 100 g dm⁻³. Em seguida, acrescentou-se 50 cm³ de nitrato de amônio nas concentrações de 16, 48, 80 e 160 g dm⁻³. A mistura foi agitada por 1 h em recipientes plásticos. Após a agitação, foi feita a determinação de Si na mistura (solução + fonte de Si), em todas as concentrações, após o tempo de repouso de 1h, 1, 2, 5, 9, 14 e 21 dias. As análises, também, foram feitas com 4 repetições usando-se três fontes (Wollastonita, Recmix e Rhodia). Os dados foram analisados em esquema fatorial (3 fontes x 4 concentração x 7 tempos) e a comparação de médias feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

c) Tempo de contato com os materiais: para avaliar o tempo de contato do extrator na solubilização do Si das fontes, 0,1 g das mesmas foi misturado a 50 cm³ de carbonato de sódio (Na₂CO₃) nas concentrações de 10 g dm⁻³. Em seguida se acrescentou 50 cm³ de nitrato de amônio nas concentrações de 16 g dm⁻³. A mistura foi agitada por 1 h em recipientes plásticos. Após a agitação foi feita a determinação de Si no extrato em todas as concentrações nos tempos de 1h, 1, 2, 5, 9, 14 e 21 dias. Os dados foram analisados em esquema fatorial (16 fontes x 7 determinações), a comparação de médias entre as fontes feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e de cada fonte determinou-se a regressão da liberação percentual de Si, obtida entre o Si liberado dividido pelo Si total, ao longo do tempo de contato com o extrator.

A determinação colorimétrica do Si, nos diferentes extratos, foi realizada por meio da formação do complexo beta-molibdosilícico adicionando-se 1 cm³ da solução sulfo-molibdica 75 g dm⁻³ (7,5 g de molibdato de amônio + 10 cm³ de ácido sulfúrico). Após 10 minutos, foram acrescentados 2 cm³ de ácido tartárico (200 g dm⁻³) e, após 5 minutos, o complexo foi reduzido com 10 cm³ de ácido ascórbico (3 g dm⁻³). Depois de uma hora de repouso para desenvolvimento de cor, fez-se a leitura do Si em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 660 nm (KILMER, 1965).

Para avaliar a capacidade das fontes no fornecimento de Si para as plantas, um experimento com a cultura do arroz (variedade Formoso - EMBRAPA) foi instalado em casa-de-vegetação, utilizando-se vasos contendo 5 kg de TFSA. O solo usado, foi coletado na camada subsuperficial (abaixo de 30 cm) no município de Comendador Gomes – MG, foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999). Este solo apresenta baixo teor de Si “disponível” em ácido acético. Os atributos químicos do solo usado no experimento são: pH (CaCl₂) 4,4; P 56 mg dm⁻³ (extraído por H₂SO₄ 0,025 mol_c dm⁻³ + HCl 0,05 mol_c dm⁻³); Si 3 mg dm⁻³; Al 1,0 cmol_c dm⁻³; Ca 0,2 cmol_c dm⁻³; Mg 0,1 cmol_c dm⁻³; Soma de bases 0,4 cmol_c dm⁻³; CTCefetiva 1,4 cmol_c dm⁻³; CTC(pH 7) 5,2 cmol_c dm⁻³; V 7 %; m 71 %; e matéria orgânica 15 g kg⁻¹.

Cada vaso recebeu a aplicação de 313 mg de Si (equivalente à cerca de 125 kg ha⁻¹ de Si total ou 268 kg ha⁻¹ de SiO₂) de cada fonte. Antes de serem aplicadas no solo, as amostras das fontes foram secas e peneiradas por uma malha de 0,3 mm (ABNT nº 50). Em função dos teores de Ca e Mg das fontes, foram adicionados carbonato de cálcio e magnésio aos tratamentos com a finalidade de equilibrar os teores destes elementos e pH no solo dos vasos. Esta metodologia foi adotada para isolar parcialmente o efeito do Si liberado pelas fontes às plantas, já que parte desses materiais (principalmente as escórias de siderurgia) são corretivos de solo e fonte de Ca e Mg.

Em seguida o solo foi umedecido até 70% da capacidade máxima de retenção de água para que ocorressem as reações químicas. A quantidade de água inicialmente aplicada, ao solo de cada vaso, foi de 860 cm³, determinado pela diferença de peso entre o solo seco e o solo na capacidade de campo obtido 24 h após sua saturação com água. Determinou-se, por pesagem, periodicamente, a perda de água por evaporação e procedeu-se a reposição desta durante o período de incubação. O solo foi incubado por 40 dias e ao final do mês de janeiro de 2001 foi semeado o arroz.

Os nutrientes associados às fontes foram integralmente balanceados de tal forma que todos os vasos receberam quantidades iguais de nutrientes. Além disso, quantidades suficientes de macro (N 1,2; P₂O₅ 1,0; K₂O 1,4; e S 0,3 g por vaso) e micronutrientes (6 ml por vaso de uma solução com: B 0,5; Mn 0,5; Zn 0,085; Cu 0,025; Fe 4,0; e Mo 0,015 g dm⁻³) foram adicionadas ao solo através de solução divididas em 10 vezes com o objetivo de atender as necessidades das plantas de arroz. Depois de formada a terceira folha, os vasos foram inundados

com uma lâmina de água de aproximadamente 1 cm quando então se realizou o desbaste, deixando-se 20 plantas por vaso. A colheita do arroz para avaliação da produção de massa seca e Si absorvido foi realizada com, aproximadamente, 150 dias de idade.

A análise do Si nas plantas de arroz foi feita segundo método descrito por Elliott; Snyder (1991). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições e a comparação de médias feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O Si extraído pelas plantas de arroz de cada uma das fontes foi correlacionado com o Si determinado nos diferentes tempos de contato do material com o extrator (1h, 1, 2, 5, 9, 14 e 21 dias).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo de agitação de três horas foi o que propiciou, em média, maior extração de Si (Quadro 2),

mas o tempo não afetou a extração de Si na Wollastonita; também não houve diferença entre 1 e 6 horas, para a Recmix. A liberação de Si pela Wollastonita indica a necessidade de tempo maior de agitação para maior eficiência na extração.

Nas quatro concentrações do extrator (Quadro 3), verificou-se que houve diferenças significativas entre elas, sendo que o aumento na concentração dos extratores reduziu a quantidade de Si recuperado. A concentração de 100 + 160 g dm⁻³ foi a que menos extraiu Si, diferindo das demais. A concentração de 50 + 80 g dm⁻³ não diferiu das menores concentrações para a Wollastonita, mas diferiu de 10 + 16 g dm⁻³ para a Recmix e 30 + 48 g dm⁻³ para a Rhodia. As concentrações que apresentaram os maiores teores de Si foram as mais baixas, com 10 + 16 g dm⁻³ e 30 + 48 g dm⁻³ de Na₂CO₃ + NH₄NO₃, diferindo das demais. Em função disso, a avaliação das fontes foi realizada usando-se a menor concentração testada.

Quadro 2. Extração de Si em função do tempo de agitação.

Tempo de agitação	Fonte			Média			
	Wollastonita	Recmix	Rhodia	g kg ⁻¹			
1h	9,1	33,2	a	23,9	c	22,1	b
3h	11,5	35,3	a	32,1	a	26,3	a
6h	11,7	32,1	a	27,7	bc	23,8	ab
12h	11,8	26,3	b	29,7	ab	22,6	b
C.V. (%)						9,5	

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Quadro 3. Extração de Si por diferentes concentrações do extrator (Na₂CO₃ + NH₄NO₃) (média de 7 leituras: 1h, 1, 3, 5, 9, 14 e 21 dias).

Concentração Na ₂ CO ₃ + NH ₄ NO ₃	Fonte			Média				
	Wollastonita	Recmix	Rhodia	g kg ⁻¹				
10 + 16 g dm ⁻³	57,5	a	44,0	a	67,7	b	56,4	a
30 + 48 g dm ⁻³	57,2	a	42,2	b	69,4	a	56,3	a
50 + 80 g dm ⁻³	56,8	a	41,9	b	66,2	b	55,0	b
100 + 160 g dm ⁻³	52,1	b	38,2	c	62,0	c	50,8	c
C.V. (%)						4,5		

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

No Quadro 4, observa-se os resultados de Si, de todas as fontes, extraídos com 10 g dm⁻³ de Na₂CO₃ e

16 g dm⁻³ NH₄NO₃, em função do tempo de repouso do extrator em contato com as fontes.

Quadro 4. Extração de Si por $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ ($10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$) de diferentes fontes silicatadas, em função do tempo de repouso.

Fontes	Tempo de repouso							Média								
	1h	1 dia	2 dias	5 dias	9 dias	14 dias	21 dias									
Wollastonita	0,8	i	12,7	c	28,9	c	54,6	b	72,6	b	92,3	a	101,2	a	51,8	b
Silifertil/AF	0,9	i	2,0	h	2,5	hi	6,5	gh	11,9	gh	12,4	ef	11,1	fg	6,7	j
Silifertil/LD	10,9	cd	12,7	cd	14,8	e	19,3	de	18,9	de	24,2	d	23,2	d	17,7	e
Rhodia	12,4	b	49,6	a	63,8	a	67,0	a	84,0	a	92,2	a	99,1	a	66,9	a
MB-4	1,4	i	1,0	h	2,0	i	4,5	hi	4,4	j	8,6	gh	9,2	g	4,4	kl
CSN AF	2,2	hi	1,7	h	3,2	hi	4,8	hi	8,4	i	8,1	h	9,0	g	5,3	k
CSN LD	5,4	fgh	7,1	g	11,4	g	12,3	fg	22,6	de	16,6	ef	19,1	e	13,5	h
Acesita AOD	11,7	cd	12,4	de	16,6	ef	22,2	e	24,7	ef	26,7	d	22,8	ef	19,6	f
Belgo LD	10,0	de	9,9	ef	13,3	efg	14,2	f	22,1	de	18,8	e	18,3	ef	15,2	g
Belgo (Siderme)	14,2	bc	15,8	c	23,4	d	26,1	d	27,8	d	32,7	c	38,6	c	25,5	d
Recmix	30,7	a	37,0	b	45,2	b	44,6	c	46,7	c	48,0	b	55,9	b	44,0	c
Açominas LD	6,6	ef	5,6	fg	8,4	fg	7,5	fg	10,6	hi	11,0	fg	10,1	g	8,5	i
Cinza	2,1	hi	1,3	h	4,7	h	4,2	hi	5,6	j	7,6	h	3,4	h	4,1	l
Xisto	0,5	i	0,9	h	4,6	hi	3,5	i	1,5	k	6,5	h	9,2	g	3,8	l
Serpentinito calcinado	5,2	fg	5,0	fg	8,4	fg	8,0	fg	13,4	fg	12,9	ef	8,6	g	8,8	i
Serpentinito fosfático	2,7	ghi	1,7	h	4,0	hi	4,5	hi	8,8	i	7,7	h	2,9	h	4,6	kl
C.V (%)																5,9

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

O Si extraído das fontes diferem significativamente entre si. Após 1 hora, a Recmix foi à fonte que liberou mais Si seguida pela Rhodia e Siderme. Após 1 dia de repouso a fonte Rhodia superou a Recmix na liberação de Si, seguida pela Siderme e Wollastonita. Em geral, as fontes apresentaram aumentos na liberação de Si ao longo do tempo conforme mostram as equações de regressão na Figura 1, porém, após 14 dias houve a diminuição de Si para algumas fontes e queda para outras.

A Wollastonita, na primeira determinação (1 hora) apresentou um dos valores mais baixos de Si. Após o repouso de 5 dias, a Wollastonita já se apresentava como a segunda fonte com maior liberação de Si, superando a Recmix. Ao final de 21 dias, a Wollastonita foi à fonte que apresentou maior liberação de Si, seguida pela Rhodia e pela Recmix. Em relação ao comportamento destas três fontes no solo, pode-se deduzir que, a fonte da Recmix apresenta o Si bastante disponível, sendo liberado rapidamente para a solução do solo, enquanto que a Wollastonita apresenta uma liberação mais lenta, que vai

aumentando ao longo do tempo, e a Rhodia se coloca como intermediária entre estas duas fontes. Assim, o comportamento das demais fontes, podem corresponder a uma variação destas formas de liberação (rápida, lenta e gradativa) de Si. Pode-se esperar que uma fonte que apresente uma liberação mais lenta apresente efeito residual mais prolongado.

Dentre as fontes testadas, verificou-se que as escórias de alto-forno, o xisto, a cinza de xisto, o MB-4 e os rejeitos foram às fontes que apresentaram a menor liberação de Si, em quase todas as determinações, apesar de algumas delas apresentarem elevada concentração de Si total.

De acordo com a Figura 1, observou-se que a maioria das fontes atingiu seu máximo de liberação de Si aos 14 dias. Algumas fontes apresentaram pequenos aumentos aos 21 dias, tendendo para uma estabilização. Somente o xisto e a CSN AF apresentaram regressões lineares, e baixos teores de Si disponível, embora apresentem altos teores de Si total (Quadro 1).

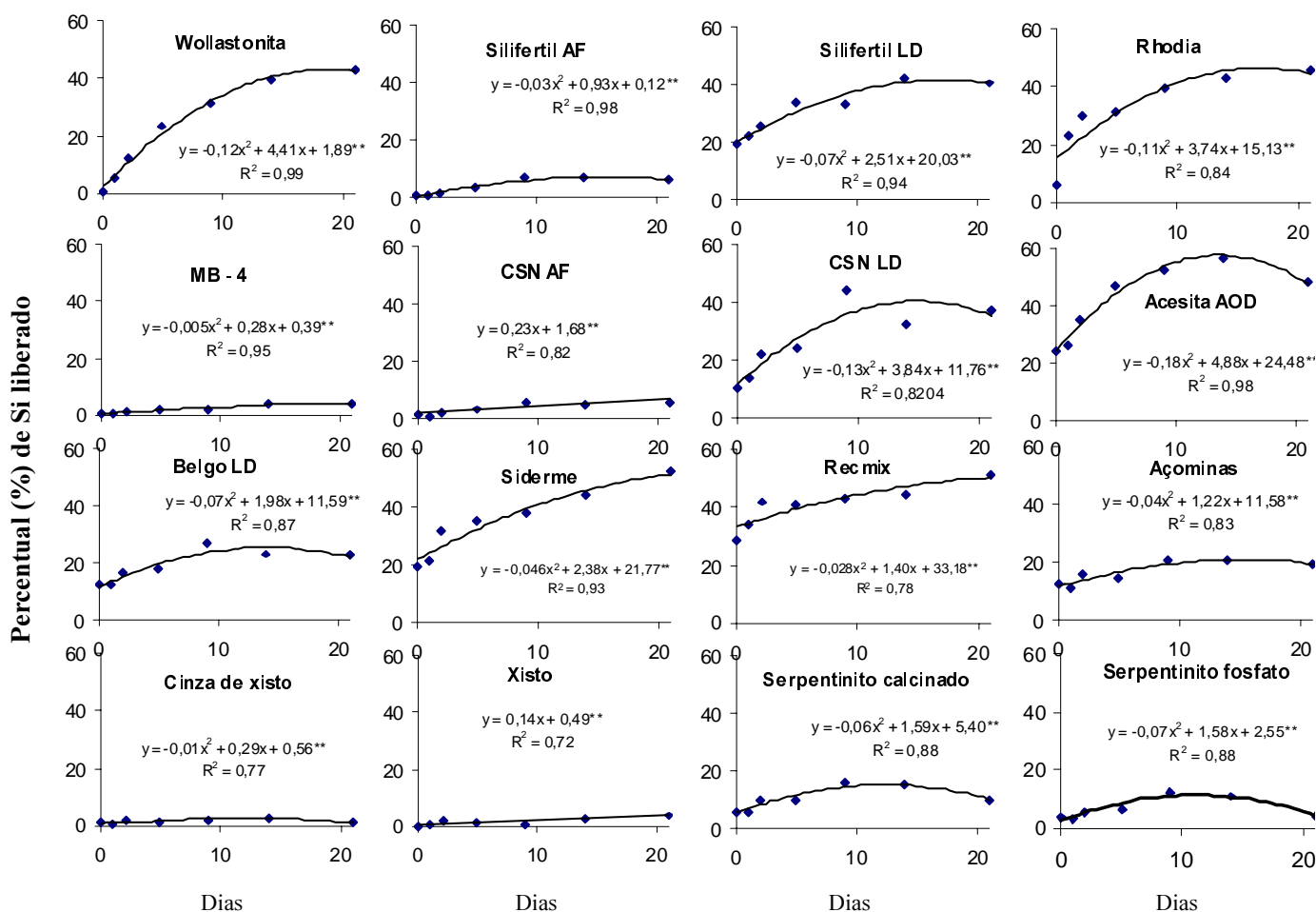


Figura 1. Solubilidade percentual em relação ao Si total de cada fonte em função do tempo de repouso da solução fonte/extrator.

** significativo a 5 e 1%.

Os resultados mostram que não houve efeito das fontes de Si sobre a produção de massa seca da parte aérea (Figura 2). Apesar disso, constata-se que a escória da Rhodia e a Wollastonita foram às fontes que apresentaram maiores teores de Si na matéria seca e as que mais acumularam Si da parte aérea do arroz (Figura 3), não diferindo entre si, seguidas da Siderme, Recmix,

Belgo Mineira e Acesita, as quais não diferiram da Wollastonita (padrão). Espera-se que quanto maior os teores de Si e o Si acumulado na parte aérea, mais eficiente deverá ser a fonte quanto à liberação de Si às plantas. Considerando apenas o Si acumulado, percebe-se que as escórias da Silifétil e da CSN, ambas de forno LD, também não diferiram da Wollastonita.

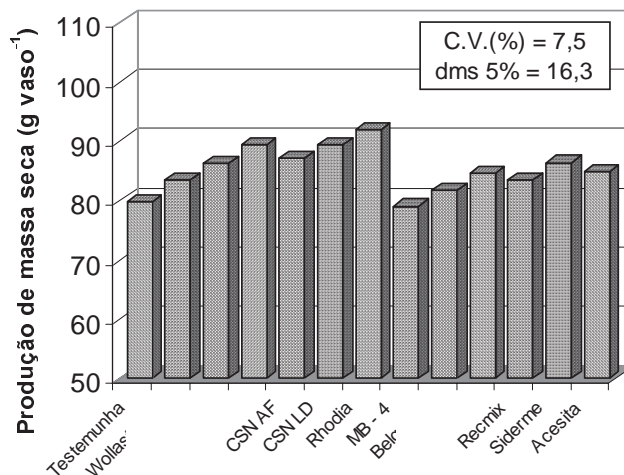


Figura 2. Produção de massa seca da cultura do arroz em g vaso⁻¹ 150 dias após a germinação.

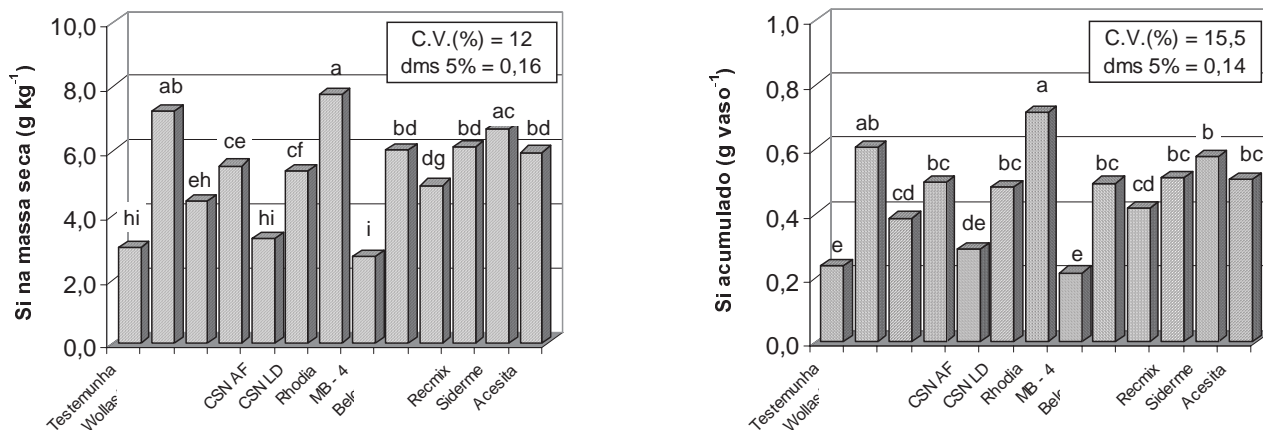


Figura 3. Teor de Si na massa seca e Si acumulado na cultura do arroz 150 dias após a germinação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

As demais fontes de Si tiveram comportamento inferior ao padrão (Wollastonita), sendo que a CSN de alto-forno e a MB-4 não diferiram da testemunha, o que indica que estas duas fontes, embora contendo altos teores de Si, liberam poucos Si para as plantas, isto é, são pouco reativas no solo. As demais escórias, como a Açominas e a Silifétil de alto-forno, tiveram comportamento intermediário entre a Wollastonita e a testemunha.

As correlações entre o Si acumulado pelas plantas

de arroz e a quantidade de Si extraído pelo Na_2CO_3 a $10 \text{ g dm}^{-3} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ a 16 g dm^{-3} , nos diferentes tempos de repouso, são apresentados na Figura 4. A maior correlação entre o Si extraído pelas plantas de arroz e o Si extraído das fontes pelo $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ ocorreu entre 5 ($R^2=0,70^{**}$) e 9 ($R^2=0,70^{**}$) dias de repouso. Resultados similares foram obtidos por Kato & Owa (1997) com 20 amostras de diferentes escórias e usando como extrator uma resina trocadora de cátions ácida (amberlite IRC-

50). Neste trabalho, os autores obtiveram correlações de $R^2=0,68$ (significativa a 1%) entre o Si extraído pelas plantas de arroz e o Si recuperado pelo extrator das escórias.

CONCLUSÕES

O extrator $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ na concentração de $10 \text{ g dm}^{-3} + 16 \text{ g dm}^{-3}$ e tempo de repouso de 5 dias, pode ser promissor na caracterização da solubilidade do Si disponível para as plantas contido em escórias e fertilizantes com Si.

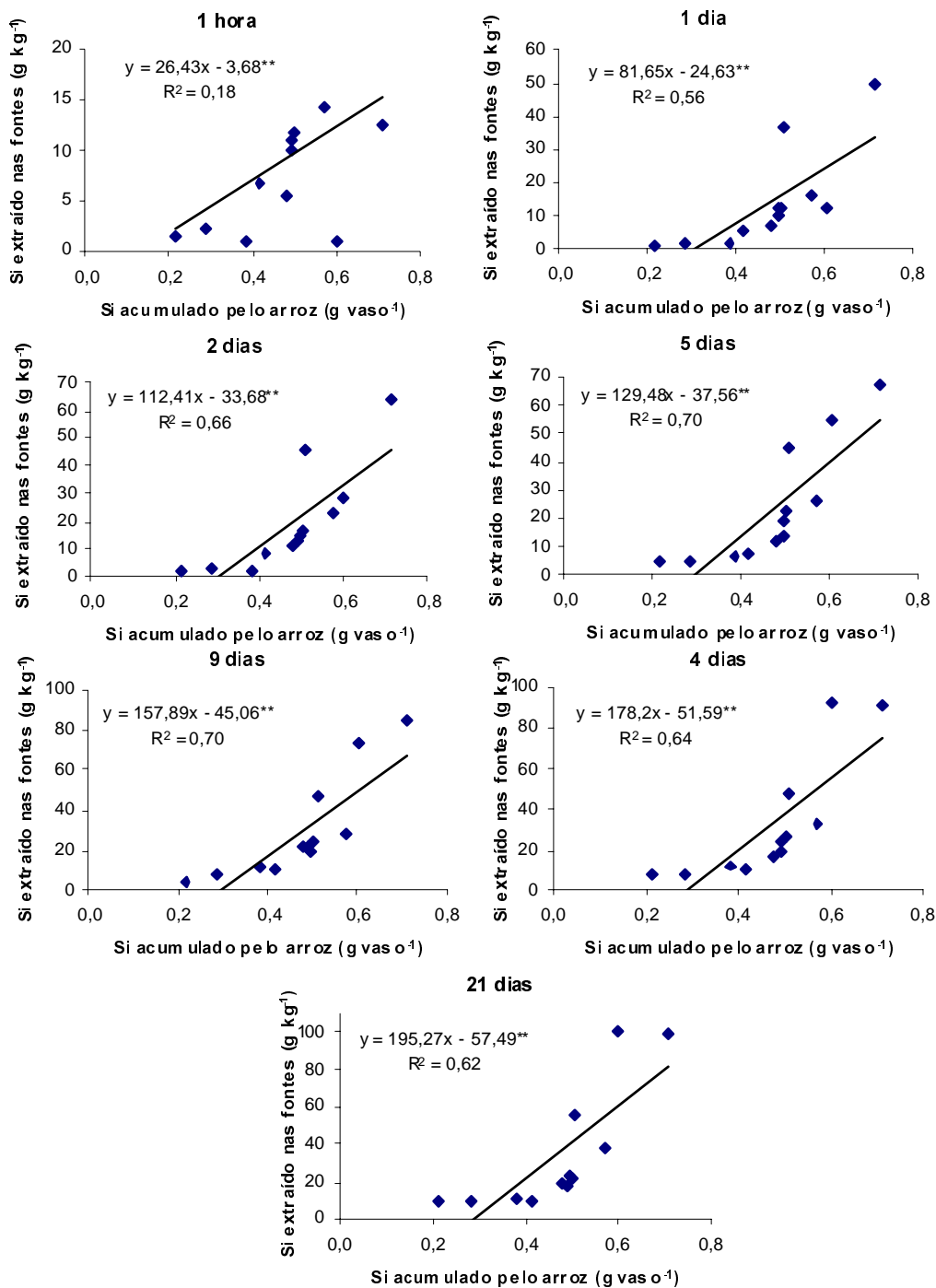


Figura 4. Correlação entre o Si extraído das fontes pelo Na_2CO_3 a $10 \text{ g dm}^{-3} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ a 16 g dm^{-3} e o Si acumulado na parte aérea do arroz nos diferentes tempos de contato da fonte com o extrator, após a agitação. ** significativo a 5 e 1%

ABSTRACT: An extraction method of silicon (Si) in sources was developed to quantify the potentially available Si to the plants. The method is based on the breakup of the Si content materials in an alkaline extractor of $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$. Different shaking times (1, 3, 6 and 12 hours), different extractor concentrations ($10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$, $30 + 48 \text{ g dm}^{-3}$, $50 + 80 \text{ g dm}^{-3}$ and $100 + 160 \text{ g dm}^{-3}$ of $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ respectively) and different times of contact with the fertilizer (1 hour, 1, 2, 5, 9, 14 and 21 days), were used to evaluate the appropriate extraction condition. Simultaneously, an experiment was carried out in the greenhouse using flooded rice crop with an application of 125 kg ha^{-1} of Si from 12 different Si sources. The result from 3 hours shaking has been superior statically to the others, but the shaking time did not show to be fundamental to Si determined when increased solubility along the rest time period of extraction was evaluate. The concentrations of $10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$ and $30 + 48 \text{ g dm}^{-3}$ of $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ were shown to be the most promising extraction. The smallest concentration ($10 + 16 \text{ g dm}^{-3}$) was used to evaluate the Si sources with relationship to resting time of extraction. It was observed that all the Si sources increased solubility along the rest time period, and 5 and 9 days tested period were better correlated with Si uptake by the rice plants. According to the results, $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ extractor can evaluate Si in the sources and can be used as a method to determine the potential Si release in the soil and the availability to the plants.

UNITERMS: Extraction of silicon, Rice, Extraction method, Silicates, Slags.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. P. 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**. Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar, 2000 (Encarte Técnico).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de Corretivos e Fertilizantes **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura - Legislação e Fiscalização**. Brasília, DF, 1982. 88 p.

CONLEY, D. J.; SCHELSKE, C. L.; STOERMER, E. F. Modification of the biogeochemical cycle os silica with eutrophication. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, Oldendorf/Luhe, v. 101, n. 1, p. 179-192, ago, 1993.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **J. Agric. Food. Chem.**, Washington, v. 39, n. 6, p. 1118-1119, jun, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plants. **Soil Sci. Plant Nutr.** Baltimore, v. 43, n. 2, p. 329-341, abr, 1997.

KILMER, V. J. Silicon. In: *Methods of soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Madison: American Society Agronomy, 1965. p. 959-962. (Agronomy, 9).

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in the soil. **Advan. Agron.** San Diego, v. 15, n. 2, p. 339-396, jun, 1963.

NATIONAL INSTITUTE OF AGRO-ENVIRONMENTAL SCIENCES. **Official methods of analysis of fertilizers**. Tsukuba: Foundation Nohrin Kohsai, 1987. p.36-48.

SAVANT, N. K.; KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 22, n. 12, p. 1853-1903, out, 1999.

SNYDER, G. H. Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, H. K.; SNYDER, G. H. (Coord.). **Silicon in agriculture**. Amsterdm:Elsevier Science B.V., 2001. p.185-196.

TAKAHASHI, K. Effects of slags on the growth and the silicon uptake by rice plants and the available silicates in paddy soils. **Bull. Shikoku Agric. Exp. Stn.**, Tokyo, v. 38, n. 1, p. 75-114, mar, 1981.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro:Ministério da Agricultura, 1964. 24 p.

VOGEL, A. **Química analítica qualitativa**. 5. ed. São Paulo:Mestre Jou, 1981. 665 p.