

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RAFAEL LUCAS COCA CUESTA

**DIFUSIVIDADE E DISPONIBILIDADE DE ZINCO CONSIDERANDO FONTES DE
DIFERENTES SOLUBILIDADES**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

RAFAEL LUCAS COCA CUESTA

**DIFUSIVIDADE E DISPONIBILIDADE DE ZINCO CONSIDERANDO FONTES DE
DIFERENTES SOLUBILIDADES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. **Modalidade:** Trabalho Científico

Orientador: Edson Marcio Mattiello

Coorientadores: Wedisson Oliveira Santos e Fabiane Ballotin

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

RAFAEL LUCAS COCA CUESTA

**DIFUSIVIDADE E DISPONIBILIDADE DE ZINCO CONSIDERANDO FONTES DE
DIFERENTES SOLUBILIDADES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. **Modalidade:** Trabalho Científico

APROVADO EM: 28 de novembro de 2017

Prof. Dr. Edson Marcio Mattiello
(Orientador)
Universidade Federal de Viçosa

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro.”

O encontro marcado, Fernando Sabino.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Aparecido e Ana Cristina, pela forte presença nos meus dias, independentemente da distância. Também sou grato por todo amor, apoio e incentivo, que foram essenciais para que eu pudesse realizar meus sonhos.

Agradeço à minha irmã Larissa, pelo companheirismo, pela confiança e pelos inúmeros momentos de alegrias.

Agradeço aos meus amigos que compartilharam momentos difíceis e celebraram as alegrias que esses anos nos proporcionaram. Tenho certeza que nossas amizades ultrapassam os limites de Viçosa!

Agradeço a todos os pós-graduandos, servidores e professores do Departamento de Solos, por possibilitarem a realização do meu trabalho. Fica aqui a minha admiração especial ao professor Edson Mattiello pela orientação, oportunidades e ensinamentos, concedidos durante os anos de graduação. Ao Wedisson e ao Odirley pela amizade e disposição em ajudar e ensinar sempre. À Fabiane pela companhia durante os dias de laboratório, tornando-os mais divertidos e também por todo o apoio e amizade. Vocês foram fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa pela possibilidade de estudar em um dos campi mais lindos do Brasil e também pelas oportunidades de desenvolvimento e crescimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço a todos que de certa forma fazem parte da minha trajetória até aqui. Muito obrigado!

RESUMO

Fontes de Zn solúveis em água são tradicionalmente utilizadas nas fertilizações, entretanto alguns estudos apontam viabilidade econômica e potencial agrônômico de fontes de baixa solubilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a difusividade e disponibilidade de Zn, de fontes com diferentes solubilidades, em solos com texturas contrastantes. O experimento foi realizado em esquema fatorial $(3 + 1) \times 2 \times 3$, sendo três fontes de Zn (ES_Zn, ZnO e ZnSO₄) e um tratamento controle (sem aplicação de Zn), dois solos de texturas contrastantes (franco arenoso e argiloso) e três tempos de incubação (30 e 60 d em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições). A unidade experimental foi composta por uma placa de Petri com 19,6 cm³ de solo. A difusividade do Zn²⁺ foi avaliada pelo método do papel filtro impregnado com CaCO₃ e por meio de tratamento de imagem. A disponibilidade de Zn no solo foi medida com o extrator DTPA. Observou-se que a difusividade do Zn²⁺ no solo é maior quando a fonte utilizada foi o ZnSO₄, em comparação com o ZnO. Reações do ZnSO₄ e o ZnO no solo afetaram de forma oposta o pH do solo, sendo o ZnSO₄ acidificante. O ZnO é solubilizado no solo em valores de pH próximo a 6,5. O S pastilhado com ZnO é retardou a solubilização do Zn e deve ter efeito residual mais prolongado no solo.

Palavras-chave: Solubilidade. Difusividade. ZnO. ZnSO₄. Enxofre elementar.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1 Fontes de Zn	2
2.2 Experimento	2
3 RESULTADOS	4
3.1 Difusão de Zn no solo	4
3.2 Acidez ativa	7
3.3 Teor disponível de Zn.....	8
4 DISCUSSÃO	9
4.1 Difusão de Zn no solo	9
4.2 Acidez ativa	9
4.3 Teor disponível de Zn.....	10
5 CONCLUSÕES.....	11
6 REFERÊNCIAS	12

1 INTRODUÇÃO

O Zn é um micronutriente envolvido em diversas funções fisiológicas, incluindo participação como cofator ou ativador enzimático e síntese de auxinas (Jamami et al., 2006). Os sintomas de deficiência de Zn na maioria das culturas estão quase sempre ligados à redução do tamanho das folhas, encurtamento dos entrenós e desenvolvimento de zonas cloróticas nas folhas, podendo evoluir para necroses com a persistência da deficiência (Alvarez et al., 2007).

A disponibilidade de Zn no solo é controlada por vários fatores, sendo a adsorção química em oxi-hidróxidos de Fe e Al o principal mecanismo de retenção do elemento no solo (Oliveira et al., 1999; Nascimento & Fontes, 2004). Outras reações no solo também são relevantes na diminuição da disponibilidade do Zn, como sua hidrólise em pH elevado e precipitações com fosfatos (Oliveira et al., 1999).

Tradicionalmente tem-se utilizado nas fertilizações fontes de Zn solúveis em água, como o ZnSO_4 e oxi-sulfatos. No entanto, alguns estudos mostram potencial agrônomico no uso de fontes de baixa solubilidade em água, como o ZnO (Santos et al., 2017; Mattiello et al., 2017), com vantagem de menor custo de produção e facilidade de armazenamento, em relação as fontes solúveis. Como o ZnO é insolúvel em água, mas solúvel em meio ácido, tem-se idealizado no grupo de estudos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa a produção e utilização de fertilizante pastilhado de enxofre elementar (S^0) e ZnO. O fornecimento de S, juntamente com o Zn é oportuno, já que o uso recorrente de fontes concentradas de N, P e K, sem ou com baixas concentrações de S, promove a falta de suprimento do elemento no solo. O S^0 é indisponível para as plantas, entretanto pode ser oxidado no solo gerando S-SO_4^{2-} (forma absorvida pelas plantas) e acidez (H^+), que poderá otimizar a solubilização de ZnO (Santos et al., 2017). A estequiometria S/Zn nesse fertilizante foi dimensionada para contemplar relações de demandas entre esses nutrientes para cultivos agrícolas.

O trabalho teve como objetivo avaliar a difusividade e disponibilidade de Zn, de fontes com diferentes solubilidades, em solos com texturas contrastantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fontes de Zn

Foram utilizadas como fontes de Zn um sal de alta solubilidade em água ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 22,74% Zn), e como fontes insolúveis em água, o ZnO (80,34% Zn) e um fertilizante pastilhado de S⁰ e ZnO (ES_Zn, 79,3% S; 4,2% Zn).

2.2 Experimento

O experimento foi realizado nas dependências do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, utilizando dois solos de texturas contrastantes (franco arenosa e argilosa). Inicialmente, a saturação por bases dos solos foi elevada para 60%, aplicando 0,95 e 0,41 g dm⁻³ de CaCO₃ para o solo franco arenoso e solo argiloso, respectivamente. Após a aplicação do corretivo, o solo foi mantido incubado a 80% da capacidade de campo por 30 d. Posteriormente, as amostras dos solos foram destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para caracterização física e química (**Tabela 1**) e em peneira de 1 mm, para realização dos experimentos.

Tabela 1. Características físicas e químicas dos solos após a calagem

Atributos físicos e químicos	Franco arenoso	Argiloso
Areia (g kg^{-1})	0,821	0,362
Silte (g kg^{-1})	0,025	0,106
Argila (g kg^{-1})	0,155	0,531
pH (H_2O)	6,63	6,19
S (mg dm^{-3})	1,5	3,1
Zn (mg dm^{-3})	0,83	1,24

MO: Matéria orgânica do solo (Walkley e Black, 1934). S disponível extraído em $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L⁻¹ em HOAc. Zn disponível extraído em Mehlich 1.

Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial $(3 + 1) \times 2 \times 3$, sendo três fontes de Zn (ES_Zn, ZnO e ZnSO₄) e um tratamento controle (sem aplicação de Zn), dois solos com texturas contrastantes (franco arenoso e argiloso) e três tempos de incubação (1, 30 e 60 d). Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental consistiu-se de uma placa de Petri contendo 19,6 cm³ de solo.

Os solos foram acondicionados nas placas de Petri de 50 mm de diâmetro e 10 mm de altura. Um grânulo do fertilizante pastilhado ($30 \pm 0,5$ mg), foi inserido na parte central da placa, a aproximadamente 0,5 cm de profundidade. O ZnSO_4 e o ZnO foram aplicados na forma de solução e suspensão, respectivamente, na dose de $15 \mu\text{L/placa}$, contemplando a mesma dose de Zn ($1,26$ mg/placa), a 0,5 cm de profundidade. Posteriormente, os solos foram umedecidos com água deionizada até atingir 80 % da capacidade de campo. Em seguida, as placas foram vedadas com fita Parafilm e incubadas a 25°C .

Para visualizar a difusividade do Zn, papéis de filtro com o mesmo diâmetro da placa de Petri (50 mm) foram impregnados com CaCO_3 , umedecidos com água deionizada e colocados sobre a superfície do solo em cada placa de Petri (**Figura 1 A**) durante duas horas, para o estabelecimento da reação entre o CaCO_3 e o Zn^{2+} difundido no solo, formando o ZnCO_3 conforme Degryse et al. (2015). Posteriormente os papéis foram retirados, enxaguados com o auxílio de uma pisseta e colocados sobre superfície limpa e plana. Em seguida, pipetou-se ~ 1 mL de Ditizona, cobrindo uniformemente a superfície do papel. Após 30 min, ocorreu o estabelecimento da coloração rósea, formada a partir da reação entre o Zn precipitado na forma de ZnCO_3 e o reagente, formando o ditizonato de zinco e, em seguida, foram obtidas imagens digitalizadas em scanner. As imagens foram processadas com a utilização do software GIMP 2.6.1, sendo a área de difusão do Zn calculada através dos pixels, gerados pelo programa, que compõem a zona de difusão rosa. Através da área de difusão, foi calculado o raio de difusão do elemento para cada tratamento conforme **Eq. 1**.

$$r = \sqrt{\frac{2A}{\pi}} \quad \text{Eq. 1}$$

Para medir a disponibilidade de Zn (DTPA-TEA - Lindsay & Norvell, 1978) e acidez ativa, amostras de solo foram coletadas utilizando um anel central (0 – 1,25 cm) e outro externo periférico (1,25 – 5,0 cm) (**Figura 1 B**). As amostras foram secas ao ar e, posteriormente, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para as análises químicas. O pH foi medido em suspensão aquosa m/v, solo:água de 1:2,5.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito dos tempos de incubação avaliados por análise de regressão e os fertilizantes comparados pelo teste de Tukey a 5 %.

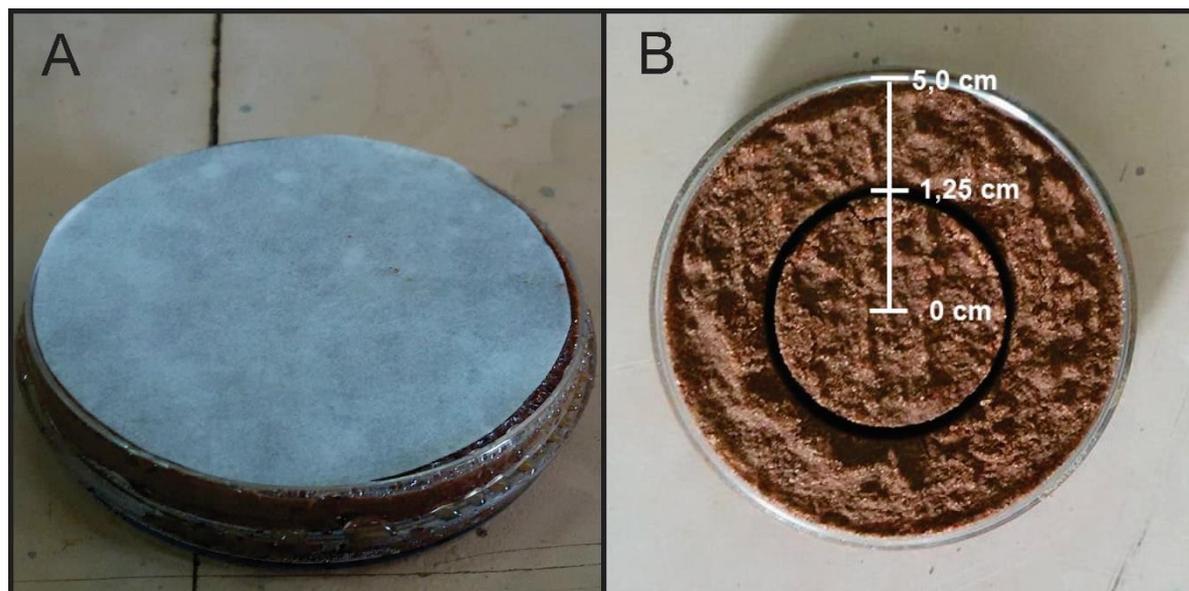


Figura 1. Disposição do papel filtro impregnado com carbonato de cálcio, sobre uma amostra de solo incubada em placa de Petri, para avaliar a difusividade do Zn^{2+} , de forma colorimétrica (Degryse et al., 2015), de diferentes fontes do nutriente (A). Delimitações dos raios dos anéis de amostragem de solo para medir a disponibilidade de Zn e acidez ativa, a diferentes distâncias da zona de aplicação dos fertilizantes (B).

3 RESULTADOS

3.1 Difusão de Zn no solo

Por meio do método colorimétrico, foram constatados diferentes padrões de difusividade do Zn, em função da fonte utilizada (**Figura 2**). Como esperado, para o $ZnSO_4$, fonte solúvel em água, foram observados maiores raios de difusão do Zn para todos os tempos, destacando-se que no dia 1 já houve formação de expressivo raio de difusão. Por outro lado, a difusividade do Zn, quando a fonte foi o ZnO , foi crescente ao longo do tempo, com indícios de difusão já a partir do dia 1.

A associação do ZnO com S^0 (ES_Zn) promoveu retardamento na solubilização do ZnO e, conseqüentemente liberação do Zn^{2+} . De fato, para esta fonte a formação de cor foi observada apenas a partir dos 30 d no solo argiloso e aos 60 d de incubação em solo franco arenoso (**Figura 2**).

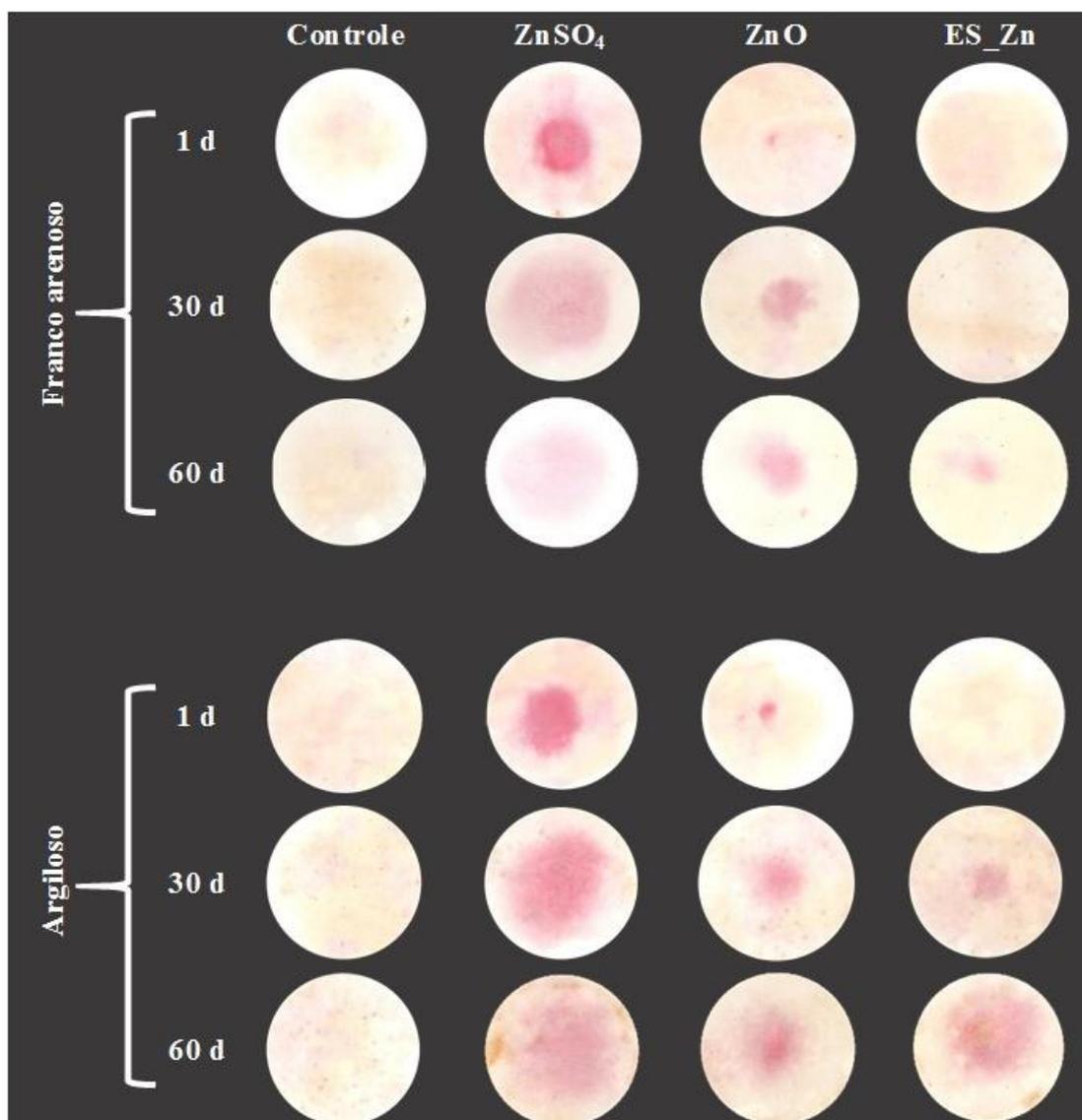


Figura 2. Visualização da difusividade do Zn em função de diferentes fontes do elemento e tempos de incubação, em solos de texturas contrastantes (franco arenoso e argiloso). ZnSO₄: sulfato de zinco; ZnO: óxido de zinco; ES_Zn: fertilizante pastilhado de S⁰ e ZnO.

A obtenção do raio de difusão do Zn²⁺ permitiu a comparação das diferentes fontes dentro de cada solo e tempo de incubação (**Figura 3**). Em concordância com o método colorimétrico, o raio de difusão do Zn²⁺ foi maior quando a fonte ZnSO₄ foi utilizada. Em solo franco arenoso, o ZnO promoveu maior difusão do Zn²⁺ comparado com o ES_Zn nos tempos 30 e 60 d. No solo argiloso, ao longo dos tempos de avaliação, o raio difusivo de Zn²⁺ da fonte ES_Zn foi menor quando comparado ao ZnO no primeiro dia de incubação, igual aos 30 d e maior aos 60 d.

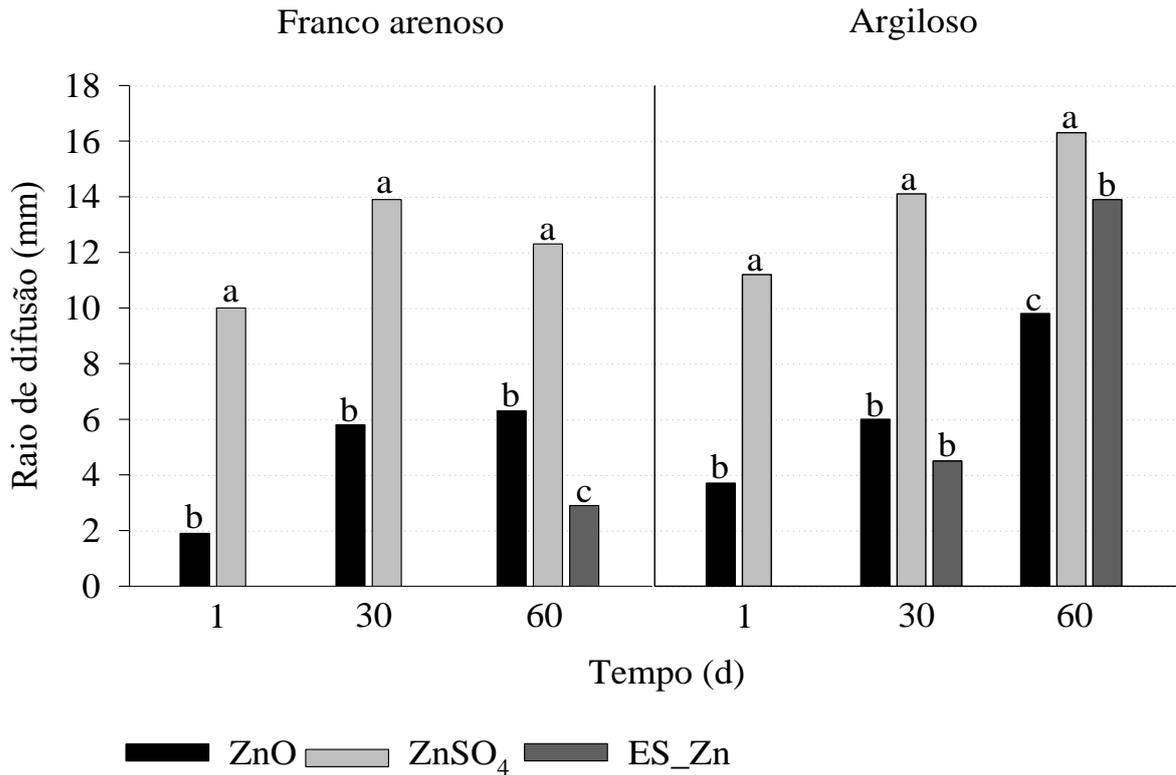


Figura 3. Raio de difusão de Zn considerando diferentes fontes do elemento, tempos de incubação, em solos de texturas contrastantes (franco arenoso e argiloso). Médias acompanhadas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, para o desdobramento fontes/tempos/solos. ZnSO₄: sulfato de zinco; ZnO: óxido de zinco; ES_Zn: fertilizante pastilhado de S⁰ e ZnO.

Procurou-se ajustar apenas o modelo linear de regressão ($y = a + bx$) para estudar o efeito do tempo de incubação na difusividade do Zn, tendo em vista o número limitado de tempos avaliados. Pôde-se observar que em solo franco arenoso, o modelo linear não se ajustou. Contudo, em solo argiloso, o aumento do raio difusivo do Zn²⁺ foi linear positivo para as fontes ZnSO₄ e ZnO, porém com maior inclinação para o ZnO. Esta tendência foi significativa para o ES_Zn apenas a 12% de probabilidade (**Figura 4**).

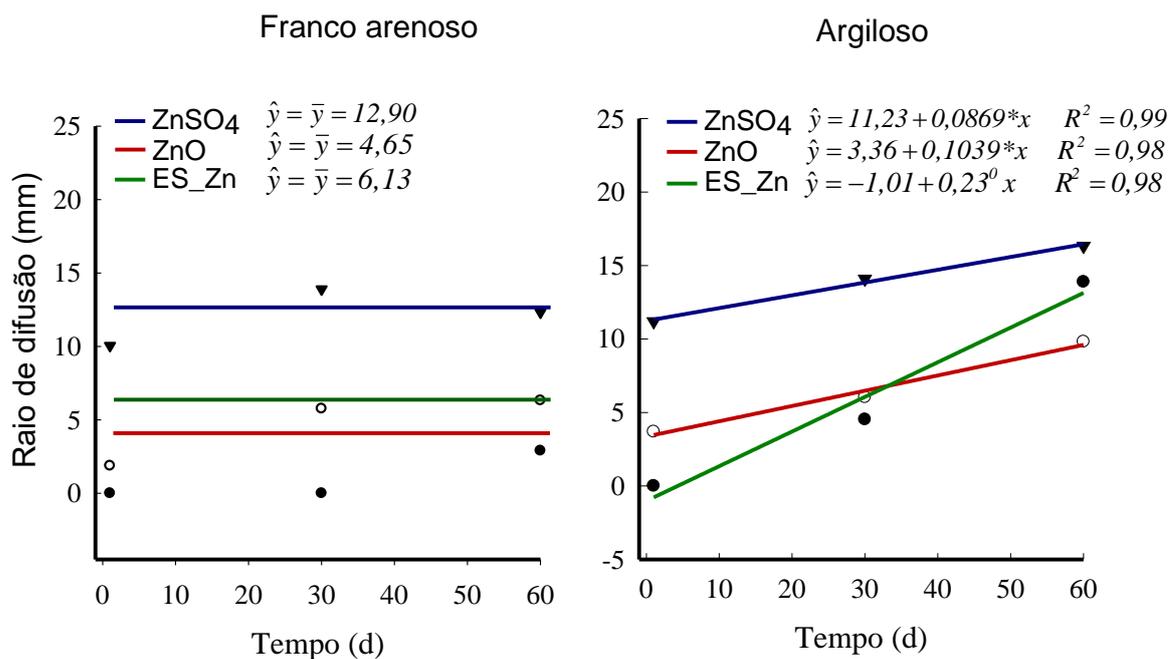


Figura 4. Raio de difusão do Zn^{2+} considerando diferentes fontes do elemento, tempos de incubação, e solos com diferentes texturas (franco arenoso e argiloso). $ZnSO_4$: sulfato de zinco, ZnO : óxido de zinco; ES_Zn: fertilizante pastilhado de S^0 e ZnO . * e 0 indicam efeito significativo pelo teste t a 5 % e 12 %, respectivamente.

3.2 Acidez ativa

As reações das diferentes fontes de Zn influenciaram na acidez ativa do solo de diferentes formas (**Tabela 2 A**). Esses efeitos foram mais expressivos nas amostras de solo do anel central, dada a maior proximidade da zona de aplicação dos fertilizantes.

Considerando as amostras do anel central, verificou-se que quando o ZnO foi a fonte utilizada, houve tendência de manutenção ou aumento do pH do solo, enquanto o $ZnSO_4$ e ES_Zn promoveram tendências opostas, mantendo ou aumentando a acidez do solo, sendo que, para o fertilizante pastilhado, a redução do pH só foi constatada em solo argiloso. Foi observado, por exemplo, que no solo franco arenoso, aos 30 d, o pH aumentou cerca de 0,3 unidades de quando o ZnO foi utilizado. Esse aumento representa uma diferença de quase 3 vezes ($10^{6,71}$ para $10^{-6,44}$ mol L^{-1}) na concentração de H^+ em solução. Para o mesmo tratamento, o $ZnSO_4$ promoveu diminuição de 0,35 unidades de pH.

Com relação aos solos amostrados do anel periférico (Externo), o efeito acidificante do $ZnSO_4$ foi detectado para boa parte dos tratamentos, sendo mais expressivo aos 60 d de incubação, em solo argiloso. O fertilizante ES_Zn também promoveu efeito similar, porém em menor magnitude.

3.3 Teor disponível de Zn

As fontes de Zn promoveram diferentes padrões de liberações do elemento, afetando diferenciadamente a sua disponibilidade pelo extrator DPTA, em ambos os anéis de amostragem, solos e tempos de incubação (**Tabela 2 B**). Para ambos os solos, no anel central, os teores disponíveis de Zn foram maiores, quando a fonte utilizada foi o ZnO, seguido pelo ZnSO₄ e o ES_Zn. Por outro lado, a difusividade do Zn²⁺ foi maior quando a fonte do elemento foi o ZnSO₄. De fato, em ambos os solos, no anel externo, os teores disponíveis de Zn foram maiores apenas quando se utilizou o ZnSO₄ como fonte.

Tabela 2. Acidez ativa (pH) e teor disponível de Zn em função de diferentes fontes do elemento, tempos de incubação, e solos com diferentes texturas (franco arenoso e argiloso) amostrados em anéis concêntricos

Fontes	Tempo de incubação (d)															
	30 d				60 d											
	F. arenoso		Argiloso		F. arenoso		Argiloso									
	Central	Externo	Central	Externo	Central	Externo	Central	Externo								
A)	----- <i>pH</i> -----															
<i>Controle</i>	6,44	b	6,45	a	5,78	a	5,75	a	6,17	b	6,26	a	5,66	a	5,63	a
<i>ZnSO₄</i>	6,09	c	6,16	b	5,55	b	5,67	a	6,19	b	6,18	a	5,39	bc	5,10	c
<i>ZnO</i>	6,71	a	6,40	a	6,00	a	5,60	a	6,48	a	6,25	a	5,58	ab	5,41	ab
<i>ES_Zn</i>	6,48	ab	6,44	a	5,40	b	5,56	a	6,12	b	6,25	a	5,13	c	5,24	bc
<i>Média solos</i>	6,43	<i>A</i>	6,36	A	5,68	<i>C</i>	5,64	C	6,24	<i>B</i>	6,24	B	5,44	<i>D</i>	5,35	D
B)	----- <i>Zn DTPA (mg dm⁻³)</i> -----															
<i>Controle</i>	0,46	d	0,62	b	0,69	d	0,66	b	0,43	d	0,39	b	0,57	d	0,64	b
<i>ZnSO₄</i>	200,05	b	38,37	a	137,20	b	24,08	a	192,00	b	43,03	a	109,30	b	23,68	a
<i>ZnO</i>	273,10	a	1,53	b	188,60	a	1,46	b	239,90	a	1,10	b	164,35	a	3,51	b
<i>ES_Zn</i>	23,16	c	0,83	b	33,91	c	1,27	b	45,08	c	0,94	b	54,55	c	3,82	b
<i>Média solos</i>	124,19	<i>A</i>	10,33	A	90,10	<i>B</i>	6,87	B	119,35	<i>A</i>	11,36	A	82,19	<i>C</i>	7,91	B

Médias nas colunas, acompanhadas de letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias nas linhas, acompanhadas de letras maiúsculas em itálico ou negrito diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ZnO: óxido de zinco; ES_Zn: fertilizante pastilhado de S⁰ e ZnO; ZnSO₄: sulfato de zinco. Central, refere-se ao anel de amostragem central e externo refere-se ao anel de amostragem externo, conforme detalhado na **Figura 2**.

4 DISCUSSÃO

4.1 Difusão de Zn no solo

Os resultados mostraram que as diferenças de solubilidade dos fertilizantes de Zn afetaram a liberação do elemento, e conseqüentemente, a sua difusividade e disponibilidade no solo. O ZnSO_4 dissocia-se rapidamente na solução do solo e o Zn^{2+} , produto da dissociação, difunde-se alcançando maiores distâncias, quando comparado às fontes de baixa solubilidade. Portanto, a dinâmica do Zn no solo é fortemente afetada pelas características das fontes.

Quando se compara os teores disponíveis de Zn da fonte ZnO, geralmente mais elevados que quando a fonte foi o ZnSO_4 , no anel interno, e a menor difusividade do Zn^{2+} da fonte ZnO, presume-se que a presença do SO_4^{2-} como ânion acompanhante do Zn^{2+} , seja um fator relevante na difusão do elemento no solo. Essa perspectiva encontra respaldo científico, visto que as interações intermoleculares são consideradas as mais energéticas da natureza (Kotz et al., sd). Assim, a interação $\text{Zn}^{2+} * \text{SO}_4^{2-}$ na solução do solo, pode elevar a difusividade do Zn.

O aumento do raio difusivo do Zn^{2+} ao longo do tempo para todas as fontes demonstra, no solo argiloso, a importância do tempo na difusividade do elemento quando a fonte é solúvel, e, para solubilização quando a fonte é de baixa solubilidade. Nesse sentido, pôde-se perceber que a solubilização do ZnO no solo ($\text{ZnO} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$) ocorre em valores de pH relativamente altos (~6,5). A associação do Zn com o S^0 , mostrou-se eficiente no retardamento da solubilização do ZnO e liberação do Zn^{2+} .

4.2 Acidez ativa

A tendência de acidificação ou elevação do pH do solo com o uso do ZnSO_4 e do ZnO, respectivamente, pode ser atribuída a diferenças nas dinâmicas do Zn^{2+} imprimidas pelas fontes. Como a dose aplicada de Zn foi elevada (~64 mg dm^{-3}) o deslocamento de H_3O^+ do complexo sortivo dos coloides do solo pelo Zn^{2+} , certamente foi o fenômeno responsável pelo aumento da acidez ativa, quando houve fertilização com ZnSO_4 , tendo em vista que os solos utilizados são predominantemente eletronegativos. Além disso, a acidez da fonte (pH \cong 4,5) também contribuiu para reduzi a acidez ativa desses tratamento.

Entretanto, quando a fonte do elemento é insolúvel e necessita de acidez para solubilização ($\text{ZnO} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$) o consumo de H^+ favorece a elevação do pH.

4.3 Teor disponível de Zn

Tanto a fonte solúvel de Zn, quanto o ZnO elevaram a disponibilidade de Zn nos solos. A maior disponibilidade de Zn do ZnO em comparação ao ZnSO₄, no anel central, deve-se certamente à maior difusão do Zn²⁺ no solo, devido a presença do SO₄²⁻, quando a fonte foi ZnSO₄, como pode ser observado pelos valores de Zn disponíveis no anel externo para a fonte ZnSO₄.

A menor dispersão do ZnO no solo, quando associado ao S⁰, aliado a elevada hidrofbicidade do S⁰, foram fatores que retardaram a solubilização do ZnO no fertilizante ES_Zn. Embora os valores de Zn extraídos por DTPA sejam menores nesse tratamento em comparação ao ZnO, foram observados aumentos expressivos em relação ao controle. Esses resultados demonstram que o ES_Zn é uma fonte de liberação lenta, com maior efeito residual no solo e esta característica deve ser levada em consideração nos programas de adubações. A liberação/solubilização do S pastilhado poderá ser maior, a depender da taxa de oxidação de S⁰, gerando acidez para a dissolução.

A oxidação do S⁰ no solo é afetada por muitos fatores, tais como: temperatura, umidade e aeração, propriedades físicas, pH, teor de matéria orgânica e fertilidade do solo, além do tamanho e dispersão das partículas do S⁰. Todos os fatores mencionados anteriormente afetam notadamente a atividade biológica do solo (Horowitz & Meurer, 2005). Ademais Lucheta (2010) reporta grande variação da taxa de oxidação do S⁰ em solos de diferentes texturas, fertilizados com a mesma dose de S⁰.

O efeito dos solos sobre a disponibilidade de Zn, sendo a disponibilidade maior em solo arenoso e menor em solo argiloso, sugere que a adsorção química do elemento no solo é fortemente influenciada pelo teor de argila. Os principais minerais que compõem a fração argila dos solos utilizados foram caulinita, gibbsita e goethita (dados não apresentados). Para o anel externo, no qual houve maior déficit de saturação para o elemento no complexo sortivo, devido à aplicação localizada no centro do anel interno, os teores disponíveis de Zn foram cerca de duas vezes maiores no solo arenoso.

5 CONCLUSÕES

A difusividade do Zn no solo até 60 dias após a aplicação é maior quando a fonte foi o ZnSO_4 , em comparação com o ZnO.

Reações do ZnSO_4 e o ZnO no solo afetaram de forma oposta o pH do solo, sendo o ZnSO_4 acidificante.

O ZnO é solubilizado no solo em valores de pH próximo a 6,5, podendo esta fonte ser considerada também para cultivos de ciclo curto, já que houve indícios de sua solubilização e aumento expressivo da disponibilidade em curto espaço de tempo.

O S pastilhado com ZnO é uma fonte de liberação lenta de Zn e deve ter efeito residual mais prolongado no solo.

6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. **Enxofre**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-646.

DEGRYSE, F.; BAIRD, R.; MCLAUGHLIN, M. J. Diffusion and solubility control of fertilizer-applied zinc: chemical assessment and visualization. **Plant and Soil**, v. 386, n. 1–2, p. 195–204, 2015.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Uso do Enxofre Elementar Como Fertilizante. **Informações Agronômicas** N° 112, p. 4–7, 2005.

JAMAMI, N.; THEODORO BULL, L.; CORULLI CORRÊA, J.; DOMINGOS RODRIGUES, J. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L) à aplicação de boro e de zinco no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 99–105, 2006.

KOTZ, John C.; PAUL JR, M. **Química geral e reações químicas**. Massachusetts: Cengage Learning Edições Ltda., 2010.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, n. 3, p. 421, 1978.

LUCHETA, A. R. **Oxidação microbiológica do enxofre elementar no solo**, 2010. Dissertação (Doutorado em ciências. Área de concentração: Microbiologia agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.

MATTIELLO, E. M.; SILVA, R. C. DA; DEGRYSE, F. Sulfur and zinc availability from co-granulated Zn-enriched elemental sulfur fertilizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 1108–1115, 2017.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 965–971, 2004.

OLIVEIRA, M. F. G.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e ph do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 1, p. 609–615, 1999.

SANTOS, W. O.; MATTIELLO, E. M.; VERGUTZ, L.; MATIAS, P. C. Production and evaluation of a co-granulated elemental sulfur- micronutrient fertilizer. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**. v. 10, n. 4, p. 14–23, 2017.