

# SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DE ESTRESSE POR FRIO EM SEMENTES DE ARROZ TRATADAS COM DIETHOLATE

## SILICON IN COLD STRESS MITIGATION IN DIETHOLATE-TREATED RICE SEEDS

Jéssica Cezar Cassol<sup>I</sup> 

Sylvio Henrique Bidel Dornelles<sup>II</sup> 

Juliana da Silva Soares<sup>III</sup> 

Elisandro Azeredo Nunes<sup>IV</sup> 

Sidinei José Lopes<sup>V</sup> 

<sup>I</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Mestre em Agrobiologia. E-mail: jessicacassol@agronoma.eng.br

<sup>II</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Doutor em Agronomia. E-mail: sylviobidel@gmail.com

<sup>III</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Acadêmica em Agronomia. E-mail: julianasilvasoaresjs@gmail.com

<sup>IV</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Acadêmico em Agronomia. E-mail: elisandroeng.agro@gmail.com

<sup>V</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Doutor em Agronomia. E-mail: sjlopes2008@gmail.com

**Resumo:** O dietholate confere às plantas de arroz tolerância a maiores doses de herbicidas, através da inibição de alguns compostos enzimáticos, porém, estas enzimas também são responsáveis por reduzir os efeitos danosos das espécies reativas de oxigênio formadas durante o metabolismo celular, em condições de estresse bióticos e abióticos. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos do silício (Si) na mitigação do estresse por frio associados ao estresse pelo tratamento com o protetor dietholate em sementes de arroz na fase de sementeira-germinação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições, em que as unidades experimentais foram placas de petri, com vinte sementes e os tratamentos arranjados em esquema fatorial 3x2x2x4x2: três temperaturas (5, 10 e 20 °C), duas cultivares (IRGA 424 RI e Guri INTA CL), dois tratamentos de semente (sem e com dietholate), quatro doses de Si (0; 4,0; 8,0 e 16 mg L<sup>-1</sup>) e duas fontes de Si (metassilicato de sódio e metassilicato de potássio). O processo germinativo das sementes de arroz e o índice de velocidade de germinação (IVG) foi influenciado negativamente pelo tratamento de sementes com dietholate, principalmente em temperaturas de 5 e 10 °C. A cultivar IRGA 424 RI foi mais resistente ao estresse por baixas temperaturas e aos efeitos fitotóxicos do protetor dietholate. O Si aumentou a porcentagem de germinação e o IVG das sementes tratadas e não tratadas com dietholate. Portanto, o Si atenua o estresse por baixas temperaturas em sementes de arroz tratadas e não tratadas com o protetor dietholate.

**Palavras-chave:** Estresse abiótico. Protetor de semente. Safeners. *Oryza sativa* L.

**Abstract:** The dietholate gives rice plants tolerance to higher doses of herbicides by inhibiting some enzymatic compounds, but these enzymes are also responsible for reducing the harmful effects of reactive oxygen species formed during cellular metabolism under biotic and abiotic stress conditions. The objective of this work was to evaluate the effects of silicon (Si) on cold stress mitigation associated with stress by treatment with



DOI: <https://doi.org/10.31512/vivencias.v16i31.183>

Recebido em: 09-01-2020

Aceito em: 28-04-2020



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

dietholate protector in rice seeds during sowing-germination phase. The experimental design was completely randomized with three replications, in which the experimental units were petri dishes with twenty seeds and the treatments arranged in a 3x2x2x4x2 factorial scheme: three temperatures (5, 10 and 20 ° C), two cultivars (IRGA 424 RI and Guri INTA CL), two seed treatments (without and with dietholate), four doses of Si (0; 4.0; 8.0 and 16 mg L<sup>-1</sup>) and two sources of Si (sodium metasilicate and potassium metasilicate). Rice seed germination and germination speed index (GVI) were negatively influenced by seed treatment with dietholate, mainly at temperatures of 5 and 10 ° C. The cultivar IRGA 424 RI was more resistant to low temperature stress and phytotoxic effects of dietholate protector. The Si increased the germination percentage and the IVG of the seeds treated and not treated with dietholate. Therefore, the Si attenuates low temperature stress in rice seeds treated and not treated with the dietholate protector.

**Keywords:** Abiotic Stress. Seed protector. Safeners. *Oryza sativa* L.

## Introdução

Protetores de plantas, ou safeners, são produtos químicos usados com a finalidade de promover a seletividade de herbicidas, através da proteção da cultura à fitotoxicidade do herbicida, sem reduzir a eficiência no controle das plantas daninhas (SANCHOTENE *et al.*, 2010). A utilização desses protetores vem conquistando destaque no cenário orizícola, e para a cultura do arroz irrigado, está registrado o protetor dietholate.

O tratamento de sementes com o dietholate (0,0- diethyl 0 phenyl phosphorothioate) confere às plantas, delas originadas, tolerância a maiores doses de clomazone (KARAM *et al.*, 2003), através da inibição de enzimas, tais como: a SOD (superóxido dismutase), a GST (glutamina sintetase) e do pigmento celular P<sub>450</sub> mono-oxigenase (YUN *et al.*, 2005), o qual é responsável pela ativação do efeito tóxico do herbicida clomazone ao transformá-lo, por hidroxilação, em 5-ceto-clomazone um metabólito tóxico para as plantas (FERHATOGLU *et al.*, 2006; TENBROOK *et al.*, 2006), não sendo transformado, o clomazone é conjugado com açúcares no citoplasma e carregado para os vacúolos das células por intermédio de carregadores de membrana do tonoplasto (FERHATOGLU *et al.*, 2005). Porém, estes compostos enzimáticos que o dietholate inibe também são responsáveis por reduzir os efeitos danosos das espécies reativas de oxigênio (EROS) formados durante o metabolismo celular (GILL *et al.*, 2013) em condições de estresse bióticos e abióticos.

Nas últimas safras, os rizicultores, do Rio Grande do Sul (RS), têm relacionado um efeito estressor do dietholate, sobre sementes da cultivar Guri INTA CL, associado ao estresse por frio, na época de semeadura-germinação (final de setembro até meados de outubro), que também é um dos períodos mais sensíveis à interferência por frio na cultura do arroz (ROSA *et al.*, 2017). A temperatura do ar ideal para o desenvolvimento da cultura situa-se entre 25 °C e 30 °C

(YOSHIDA, 1981), com a semeadura antecipada, nos meses de setembro/outubro, o período reprodutivo acontece numa época de maior intensidade de radiação solar (dezembro/janeiro), favorecendo o aumento de produtividade (MERTZ *et al.*, 2009), entretanto, a ocorrência de temperaturas do ar abaixo de 15 °, no RS, é muito comum nesses meses, resultando em menor porcentagem de germinação e atraso do desenvolvimento inicial das plantas tratadas com dietholate (CRUZ, 2001).

Como solução para minimização dos efeitos fitotóxicos do dietholate associados ao estresse por frio, tem sido indicado a utilização de fertilizantes à base de silício (Si), aplicados via tratamento de sementes ou no sulco de semeadura. De acordo com Rodrigues *et al.* (2011), plantas que crescem em ambiente rico em Si, diferem daquelas presentes em condições de deficiência, principalmente quanto à tolerância a fatores abióticos. O Si é um dos elementos minerais que é desencadeador da sinalização para a produção de enzimas, tais como: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX). Estas enzimas atuam como antioxidantes e estão relacionadas ao mecanismo de defesa das plantas contra as EROs (ASHRAF *et al.*, 2010). Também, ativa a expressão de genes envolvidos na produção de compostos secundários do metabolismo, como polifenóis e outras fitoalexinas (GRATÃO *et al.*, 2005). Da mesma forma, estimulando a produção de compostos osmoprotetores, tais como: prolina, glicina-betaína, poliálcoois, entre outros (ETESAMI *et al.*, 2017), o Si pode ativar as defesas das células vegetais aos efeitos estressores das baixas temperaturas (ROSA *et al.*, 2017).

Desta forma, em função da aplicabilidade dos resultados, este estudo objetiva avaliar os possíveis efeitos benéficos do Si em mitigar estresses induzidos pelo tratamento de sementes de arroz com o protetor dietholate associados ao estresse por frio.

## Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais da Universidade Federal de Santa Maria, no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em que as unidades experimentais foram placas de Petri (150 mm de diâmetro) com duas camadas de papel germitest, contendo 20 sementes por placa.

Os 96 tratamentos arranjados em esquema fatorial 3x2x2x4x2: três temperaturas para germinação (5, 10 e 20 °C), duas cultivares (IRGA 424 RI e Guri INTA CL), dois tratamentos de semente (sem e com dietholate - Permit Star® - na dose de 6 mL por kg de sementes) quatro doses de Si (0; 4,0; 8,0 e 16 mg L<sup>-1</sup>) e duas fontes de Si (metassilicato de sódio - composição: Na<sub>2</sub>O 28%; SiO<sub>2</sub> ≈ 27%; Fe ≈ 0,02%; e, metassilicato de potássio - composição: N ≈ 3%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≈ 2%; K<sub>2</sub>O ≈ 15%; SiO<sub>2</sub> ≈ 25%).

As soluções de Si provenientes das duas fontes (metassilicato de sódio e metassilicato de potássio) foram preparadas nas doses de 0,0; 4,0; 8,0 e 16 mg L<sup>-1</sup> sendo diluídas em água destilada e o pH ajustado para 5,8±1.

Conforme protocolo proposto por Ferreira e Aquila (2000), as sementes de arroz foram inoculadas nas placas de Petri, e após a inoculação, as placas foram mantidas em diferentes câmaras

de germinação B.O.D., com fotoperíodo de 16 horas, reguladas para três temperaturas (5, 10 e 20 °C), durante sete dias. Posteriormente, foram transferidas para sala de crescimento com fotoperíodo de 16 horas (R.F.A de  $\sim 73 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e temperatura de 25 °C  $\pm 1$ , permanecendo por mais sete dias.

O número de sementes germinadas foi aferido a cada 24 h durante o período de sete dias na sala de crescimento. Foram consideradas germinadas, as sementes que apresentaram no mínimo 1,0 mm de radícula, sendo então obtida a porcentagem de germinação (%G) e o índice de velocidade de germinação, conforme Maguire (1962).

Procedeu-se a análise de variância para a porcentagem de germinação e o índice de velocidade de emergência, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade de erro, exceto para as médias das doses de Si, que foram ajustadas modelos polinomiais, utilizando-se o programa estatístico Sisvar<sup>®</sup> 5.3 (FERREIRA, 2014).

## Resultados e discussões

A variável porcentagem de germinação apresentou interação significativa para todos os fatores (temperatura x cultivar x tratamento de sementes x dose de Si x fonte de Si). Já a variável índice de velocidade de germinação mostrou interação entre temperatura x tratamento de semente x dose de Si x fontes de Si, não havendo efeito das cultivares pelo teste F ( $p < 0,05$ ), assim, para essa variável, os modelos de regressão e tabelas foram obtidos com a média das duas cultivares.

O processo germinativo das sementes de arroz foi influenciado negativamente pelo tratamento de semente com dietholate. Das dezesseis comparações entre com e sem o dietholate em cada uma das temperaturas 5, 10 e 20 °C, em torno de 69, 75 e 37%, respectivamente, o dietholate causou estresse oxidativo reduzindo a germinação de forma significativa, com efeitos deletérios em maior proporção nas temperaturas mais baixas, de 5 e 10 °C (Tabela 1). Isso se deve, possivelmente, pelo fato de que as plantas geram espécies reativas de oxigênio (EROs) em condições de estresse por baixas temperaturas, ativando também várias enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) em resposta a estas condições externas de estresse. O dietholate pode ter induzido uma inibição dessas enzimas antioxidantes que são importantes na desintoxicação celular do excesso de EROs, sendo do ponto de vista da proteção das plântulas um efeito indesejável. Estes resultados corroboram com Mistura *et al.* (2008) e Galon *et al.* (2011), os quais encontraram que o protetor de sementes dietholate na cultura do arroz interfere negativamente na germinação da semente e proporciona reduções da porcentagem de germinação e emergência das plântulas de até 30%. Além disso, outra hipótese é a de que a cobertura das sementes com o protetor dietholate pode ter reduzido a velocidade de absorção de água, a qual é indispensável para desencadear os processos metabólicos e bioquímicos da germinação.

Tabela 1 – Médias da porcentagem de germinação de sementes de arroz, sob diferentes temperaturas, cultivares, fontes e doses de Si para o fator tratamento de sementes. Santa Maria, RS, 2019.

TEMPERATURA	FONTE DE SILÍCIO	CULTIVAR	TRATAMENTOS DE SEMENTE	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
				0	4,0	8,0	16
5 ° C	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	com dietholate	48 A	62 A	52 B	32 B
			sem dietholate	61 A	50 A	68 A	65 A
		Irga 424 RI	com dietholate	45 B	72 A	65 B	60 B
			sem dietholate	85 A	83 A	82 A	93 A
	Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	com dietholate	48 B	73 A	73 B	77 B
			sem dietholate	78 A	83 A	90 A	92 A
10 ° C	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	com dietholate	57 B	60 B	58 B	45 B
			sem dietholate	88 A	85 A	88 A	88 A
		Irga 424 RI	com dietholate	68 B	72 B	72 B	62 B
			sem dietholate	95 A	90 A	90 A	90 A
	Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	com dietholate	70 B	72 B	90 A	73 B
			sem dietholate	85 A	93 A	93 A	97 A
		Irga 424 RI	com dietholate	67 B	80 A	95 A	80 A
			sem dietholate	90 A	93 A	95 A	85 A
	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	com dietholate	43 B	80 A	68 B	0 B
			sem dietholate	90 A	92 A	93 A	93 A
		Irga 424 RI	com dietholate	85 A	85 A	60 B	0 B
			sem dietholate	95 A	92 A	98 A	90 A
Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	com dietholate	90 A	82 A	85 A	84 A	
		sem dietholate	92 A	90 A	88 A	92 A	
	Irga 424 RI	com dietholate	68 B	85 A	88 A	88 A	
		sem dietholate	93 A	95 A	93 A	93 A	

CV (%)= 11,57

\*Médias de germinação entre com e sem dietholate não seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Comparando as temperaturas, observou-se, de modo geral, que as sementes tratadas com dietholate tiveram porcentagem de germinação maior em temperaturas de 10 e 20 °C, quando suplementadas com Si até a dose de 8,0 mg L<sup>-1</sup>, nas duas fontes testadas (Tabela 2). E menor germinação nas três temperaturas (5, 10 e 20 °C) na dose de 16 mg L<sup>-1</sup> de metassilicato de potássio. Para as sementes não tratadas com dietholate, a germinação foi influenciada pela temperatura apenas quando as sementes foram suplementadas com Si na fonte metassilicato de potássio, em que se obteve menor porcentagem de germinação em temperatura de 5 °C, não havendo relação de dose dependente de metassilicato de potássio.

Em estudo realizado por Liang *et al.* (2008), avaliando o efeito do Si no aumento da tolerância de duas cultivares de trigo à estresse por congelamento (-5 °C), os autores relataram que o Si pode aliviar o estresse e melhorar o crescimento do trigo sob congelamento. Os possíveis mecanismos envolvidos podem ser atribuídos à maior atividade de defesa antioxidante, diminuição da peroxidação lipídica e da sinalização para produção de compostos osmoprotetores, tais como: prolina, glicina-betaína, poliálcoois, entre outros (ETESAMI *et al.*, 2017). O aumento nos níveis de prolina atua no ajuste osmótico da planta, auxiliando na tolerância ao frio através da manutenção da integridade da membrana, evitando a desidratação celular provocada pela pressão osmótica (HUANG *et al.*, 2012).

Tabela 2 – Médias da porcentagem de germinação de sementes de arroz, sob diferentes cultivares, tratamentos de semente, fontes e doses de silício para o fator temperatura. Santa Maria, RS, 2019.

DOSE DE SILÍCIO	TRATAMENTOS DE SEMENTE	CULTIVAR	FONTE DE SILÍCIO	TEMPERATURA		
				5 °C	10 °C	20 °C
0 mg L <sup>-1</sup>	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	48 C	70 B	90 A
			Metassilicato de potássio	48 A	57 A	43 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	65 A	65 A	70 A
			Metassilicato de potássio	45 B	70 A	85 A
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	80 A	85 A	90 A
			Metassilicato de potássio	60 B	90 A	90 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	95 A	90 A	95 A
			Metassilicato de potássio	85 A	95 A	95 A
4,0 mg L <sup>-1</sup>	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	75 A	70 A	80 A
			Metassilicato de potássio	60 B	60 B	80 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	65 B	80 AB	85 A
			Metassilicato de potássio	70 B	70 B	90 A
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	90 A	90 A	95 A
			Metassilicato de potássio	50 B	85 A	90 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	85 A	95 A	90 A
			Metassilicato de potássio	85 A	90 A	85 A
8,0 mg L <sup>-1</sup>	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	75 B	95 A	85 AB
			Metassilicato de potássio	50 A	65 A	70 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	65 B	95 A	90 A
			Metassilicato de potássio	65 A	70 A	60 A
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	90 A	90 A	90 A
			Metassilicato de potássio	70 B	90 A	19 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	95 A	95 A	95 A
			Metassilicato de potássio	80 A	90 A	100 A
16 mg L <sup>-1</sup>	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	75 A	75 A	85 A
			Metassilicato de potássio	30 A	45 A	0 B
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	80 A	80 A	90 A
			Metassilicato de potássio	60 A	60 A	0 B
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	90 A	95 A	90 A
			Metassilicato de potássio	65 B	90 A	95 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	95 A	85 A	95 A
			Metassilicato de potássio	95 A	90 A	90 A

CV (%)= 11,567

\*Médias de germinação entre as temperaturas não seguidas por mesma letra na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em relação às fontes de Si, com o tratamento de sementes com dietholate, observou-se que das seis comparações em cada uma das temperaturas de 5, 10 e 20 °C, o metassilicato de sódio aumentou significativamente a germinação das sementes em 50, 66 e 66% respectivamente, em comparação com a fonte metassilicato de potássio. Para as sementes não tratadas com dietholate, não houve diferença significativa entre as fontes de Si em temperatura de 10 e 20 °C, já em temperatura de 5 °C, observou-se o mesmo resultado para as sementes tratadas com dietholate (Tabela 3). A fonte metassilicato de sódio possui em sua composição ferro, que participa, em baixas concentrações, do processo antioxidante contra EROs, em associação com enzimas (Halliwell; Gutteridge, 1985), possuindo importante papel como componente de enzimas, envolvidas na transferência de elétrons (reações redox) (TAIZ *et al.*, 2017).

Tabela 3 – Médias da porcentagem de germinação de sementes de arroz, sob diferentes temperaturas, cultivares, tratamento de semente e doses de silício para o fator fonte de silício. Santa Maria, RS, 2019.

TEMPERATURA	TRATAMENTOS DE SEMENTE	CULTIVAR	FONTE DE SILÍCIO	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
				0	4,0	8,0	16
5 ° C	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	48	73 A	73 A	77 A
			Metassilicato de potássio	48	62 A	52 B	32 B
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	67	67 A	667 A	82 A
			Metassilicato de potássio	45	72 A	65 A	60 B
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	78	83 A	90 A	92 A
			Metassilicato de potássio	62	50 B	68 B	65 B
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	97	92 A	93 A	95 A
			Metassilicato de potássio	85	83 A	82 A	93 A
10 ° C	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	70	72 A	93 A	73 A
			Metassilicato de potássio	57	60 A	58 B	45 B
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	67	80 A	95 A	80 A
			Metassilicato de potássio	68	72 A	73 B	67 B
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	85	93 A	90 A	97 A
			Metassilicato de potássio	88	85 A	88 A	88 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	90	94 A	95 A	85 A
			Metassilicato de potássio	95	90 A	90 A	90 A
20 ° C	com dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	90	82 A	85 A	80 A
			Metassilicato de potássio	43	80 A	68 B	0 B
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	68	85 A	88 A	88 A
			Metassilicato de potássio	85	92 A	60 B	0 B
	sem dietholate	Guri INTA CL	Metassilicato de sódio	92	90 A	88 A	92 A
			Metassilicato de potássio	90	92 A	93 A	93 A
		Irga 424 RI	Metassilicato de sódio	93	95 A	93 A	93 A
			Metassilicato de potássio	95	85 A	98 A	90 A

CV (%)= 11,57

\*Médias de germinação entre fontes de silício não seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Entre as cultivares, verificou-se que das dezesseis comparações realizadas em cada umas das temperaturas 5, 10 e 20 °C, a cultivar IRGA 424 RI obteve maior porcentagem de germinação do que a cultivar Guri INTA CL em 37, 6 e 6% respectivamente, para as sementes tratadas e não tratadas com dietholate, nas duas fontes de Si (Tabela 4). Todas as cultivares de arroz desenvolvidas nos Estados do RS e de SC são sensíveis ao estresse de baixa temperatura. Entretanto, algumas cultivares desenvolvidas no RS são adaptadas às regiões mais frias, como a Campanha e a Zona Sul, podendo-se destacar a cultivares IRGA 424 RI, no estágio de germinação-emergência (SOSBAI, 2018), em função disso, é possível que a cultivar tenha resistido melhor ao estresse por frio em temperaturas mais baixas (5 °C). Estes resultados vão de encontro aos observados por Cruz *et al.* (2010), que apesar de ser considerada uma cultivar com boa adaptação às condições de média e baixa temperatura, em ensaio de sensibilidade ao frio, a cultivar IRGA 424 RI apresentou sobrevivência de apenas 2,5% de plântulas.

Tabela 4 – Médias da porcentagem de germinação de sementes de arroz, sob diferentes temperaturas, tratamentos de semente, fontes e doses de silício para o fator cultivares. Santa Maria, RS, 2019.

TEMPERATURA	TRATAMENTO DE SEMENTE	FONTE DE SILÍCIO	CULTIVAR	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
				0	4,0	8,0	16
5 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	48 A	62 A	52 A	32 B
			IRGA 424 RI	45 A	72 A	65 A	60 A
		Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	48 B	73 A	73 A	77 A
	IRGA 424 RI		67 A	67 A	67 A	82 A	
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	62 B	50 B	68 A	65 B
			IRGA 424 RI	85 A	83 A	82 A	93 A
Metassilicato de sódio		Guri INTA CL	78 B	83 A	90 A	92 A	
	IRGA 424 RI	97 A	92 A	93 A	95 A		
10 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	57 A	60 A	58 A	45 B
			IRGA 424 RI	68 A	72 A	72 A	62 A
		Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	70 A	72 A	93 A	73 A
	IRGA 424 RI		67 A	80 A	95 A	80 A	
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	88 A	85 A	88 A	88 A
			IRGA 424 RI	95 A	90 A	90 A	90 A
Metassilicato de sódio		Guri INTA CL	85 A	93 A	90 A	97 A	
	IRGA 424 RI	90 A	93 A	95 A	85 A		
20 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	43 B	80 A	68 A	0 A
			IRGA 424 RI	85 A	92 A	60 A	0 A
		Metassilicato de sódio	Guri INTA CL	90 A	82 A	85 A	83 A
	IRGA 424 RI		68 B	85 A	88 A	88 A	
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	Guri INTA CL	90 A	92 A	93 A	93 A
			IRGA 424 RI	95 A	85 A	98 A	90 A
Metassilicato de sódio		Guri INTA CL	92 A	90 A	88 A	92 A	
	IRGA 424 RI	93 A	95 A	93 A	93 A		

CV (%)= 11,57

\*Médias de germinação entre cultivares seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na análise de regressão das doses de Si, para a variável porcentagem de germinação (Figura 1a, 1b, 1c e 1d), verificou-se que as sementes não tratadas com dietholate, não tiveram ajustes significativos de modelos polinomiais sob as três condições de temperatura (5, 10 e 20 °C), nas duas cultivares (Guri INTA CL e IRGA 424 RI), provavelmente, isso se deve ao fato que as células normalmente toleram o estresse oxidativo brando, o qual frequentemente resulta na modificação da regulação do sistema de defesa antioxidante na tentativa de restaurar o balanço oxidante e antioxidante (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999), o próprio sistema de defesa antioxidante da planta amenizou o estresse oxidativo causado pelo frio. Entretanto, para a análise de regressão das doses de Si, em sementes tratadas com dietholate, de modo geral, os percentuais germinativos das sementes aumentaram para as três condições de temperatura (5, 10 e 20 °C). Na Figura 1a e 1c, em temperatura de 5 °C, a porcentagem de germinação das sementes da cultivar Guri INTA CL, aumentou de forma quadrática nas duas fontes de Si, tendo seus pontos de máxima, nas doses 5,5 mg L<sup>-1</sup> da fonte metassilicato de potássio e 11,8 mg L<sup>-1</sup> da fonte metassilicato de sódio. Já para a cultivar IRGA 424 RI (Figura 1b e 1d), também em temperatura de 5 °C, houve um aumento quadrático na fonte metassilicato de potássio com ponto de máxima na dose de 9,3 mg L<sup>-1</sup>, e um aumento linear da porcentagem de germinação para a fonte metassilicato de sódio.

Para as sementes das duas cultivares de arroz tratadas com dietholate em temperatura de 10 °C (Figura 1a e 1b), não tiveram ajustes significativos de modelos, com o aumento das doses de Si na fonte metassilicato de potássio. Já na fonte metassilicato de sódio (Figura 1c e 1d), ocorreu um aumento quadrático na porcentagem de germinação de ambas cultivares de arroz,

com pontos de máxima na dose de 9 mg L<sup>-1</sup> para a cultivar Guri INTA CL e 9,6 mg L<sup>-1</sup> para a cultivar IRGA 424 RI.

Em temperatura de 20 °C, observou-se para as doses de Si da fonte metassilicato de sódio (Figura 1c e 1d), que para a cultivar Guri INTA CL (Figura 1c) tratada com dietholate, não teve ajustes significativos de modelos polinomiais, e para a cultivar IRGA 424 RI (Figura 1d), houve um aumento linear da porcentagem de germinação.

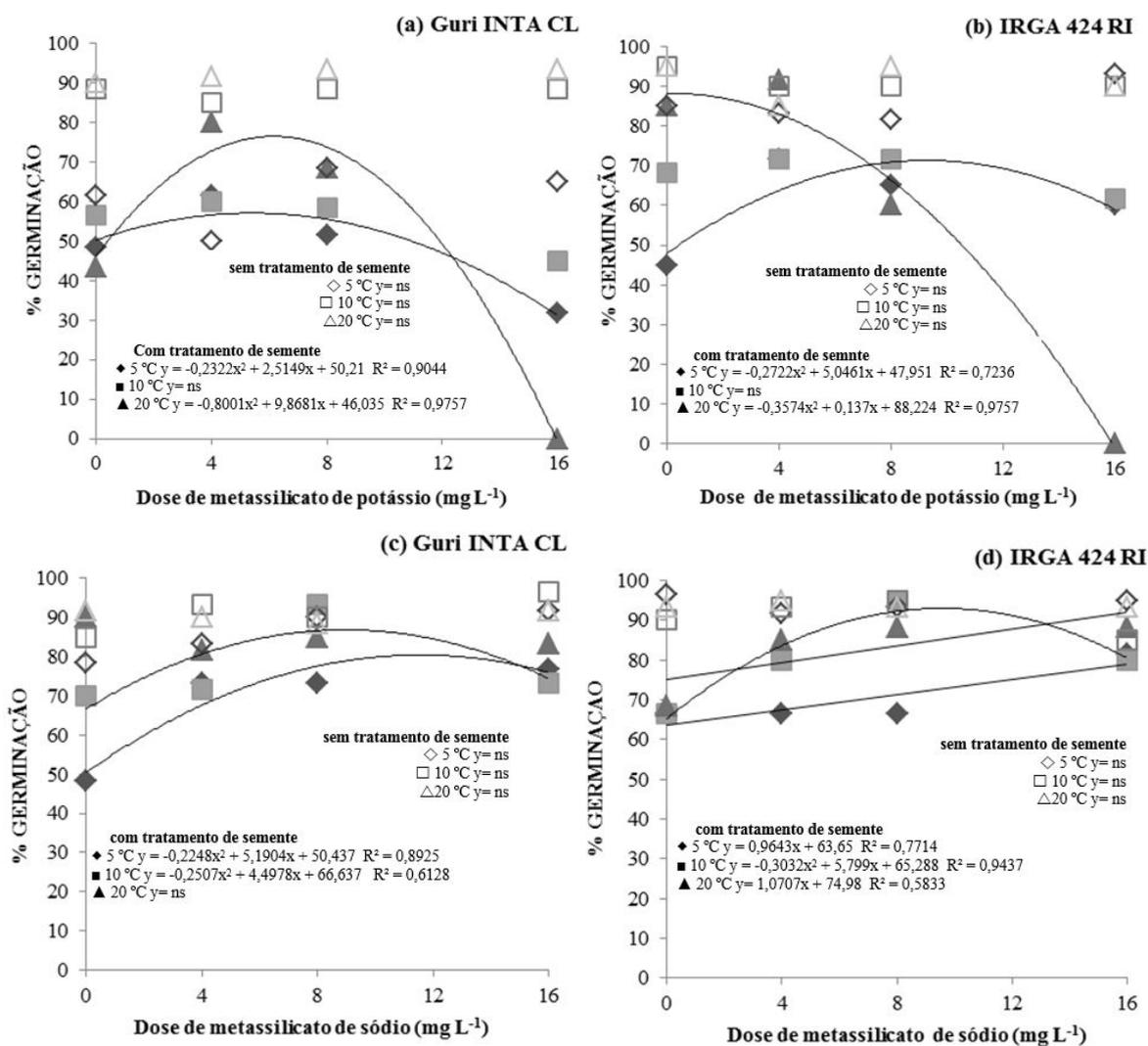
O Si aumenta a tolerância da planta ao frio e diminui o congelamento que ocorre dentro da célula porque ele mantém a célula intacta, sem rompimento. Assim que a temperatura volta a subir, a planta volta a sua atividade metabólica normal (LEVITT, 1980).

Em relação às doses de Si da fonte metassilicato de potássio (Figura 1a e 1b), para ambas cultivares, em temperatura de 20 °C, verificou-se um comportamento quadrático, havendo um aumento na porcentagem de germinação até seus pontos de máxima em 7 mg L<sup>-1</sup> para a cultivar Guri INTA CL (Figura 1a) e de 2 mg L<sup>-1</sup> para a cultivar IRGA 424 RI (Figura 1b). Na maior dose de Si (16 mg L<sup>-1</sup>), a fonte metassilicato de potássio causou inibição do processo germinativo das sementes de arroz nas duas cultivares avaliadas.

A inibição do processo germinativo pode provir do fato de que, qualquer nutriente absorvido em excesso pode provocar um desbalanço nutricional na planta, inclusive o metassilicato de potássio. É necessário considerar os nutrientes como um todo, porque, no processo de absorção, um pode exercer influência sobre o outro, dadas as possíveis interações que podem ocorrer (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Em conformidade com Vieira *et al.* (2011), em experimento com aplicação de silicato de cálcio em arroz irrigado, obtiveram efeitos positivos na qualidade das sementes, entretanto doses excessivas de Si afetaram a qualidade das mesmas.

Sugerindo-se assim, que as doses das duas fontes de Si (metassilicato de sódio e metassilicato de potássio) podem trazer benefícios à cultura do arroz como alternativa viável para um decréscimo dos estresses oxidativos causados pelo protetor dietholate em sementes sob estresses por baixas temperaturas, ocorridos na fase de semeadura-germinação. Entretanto, doses excessivas de Si afetam a porcentagem de germinação das sementes.

Figura 1 – Relação entre a porcentagem de germinação das cultivares IRGA 424 RI e Guri INTA CL, com e sem tratamento de semente com dietholate, sob diferentes temperaturas e doses de Si de diferentes fontes, metassilicato de sódio e metassilicato de potássio. Santa Maria, RS, 2019.



Para o tratamento de semente, em relação a variável índice de velocidade de germinação, é possível observar que para as sementes tratadas com dietholate, das oito comparações realizadas em cada uma das três temperaturas de 5, 10 e 20 °C, em torno de 62, 87 e 100% respectivamente, obtiveram um índice de velocidade de germinação menor, em relação às sementes sem tratamento com dietholate (Tabela 5). Os resultados obtidos apresentaram uma relação de proporcionalidade com os da porcentagem de germinação, onde em temperatura mais baixas de 5 e 10 °C foi menor a velocidade de germinação das sementes. Isto ocorreu, possivelmente, porque as sementes possuem algum grau de sensibilidade, a qual contribui o menor índice de velocidade de germinação. Além disso, outra hipótese é a de que a cobertura das sementes com o protetor dietholate reduza a velocidade de absorção de água. A qual é indispensável para desencadear os processos metabólicos e bioquímicos da germinação, ocasionando desse modo uma redução do índice de velocidade de germinação (MISTURA *et al.*, 2008).

**Tabela 5** – Médias do índice e velocidade de germinação de sementes de arroz das duas cultivares, sob diferentes temperaturas, fontes e doses de silício para o fator tratamento de sementes. Santa Maria, RS, 2019.

TEMPERATURA	FONTE DE SILÍCIO	TRATAMENTOS DE SEMENTE	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
			0	4,0	8,0	16
5 ° C	Metassilicato de potássio	com dietholate	2,40 B	3,15 A	2,55 B	2,39 B
		sem dietholate	3,71 A	3,51 A	4,10 A	4,50 A
	Metassilicato de sódio	com dietholate	2,11 B	3,81 A	4,04 A	3,70 B
		sem dietholate	3,56 A	3,94 A	7,70 A	5,17 A
10 ° C	Metassilicato de potássio	com dietholate	2,48 B	2,92 B	3,07 B	2,54 B
		sem dietholate	9,08 A	8,44 A	8,86 A	8,8 A
	Metassilicato de sódio	com dietholate	3,24 A	3,95 B	4,95 B	3,91 B
		sem dietholate	4,05 A	5,48 A	6,16 A	6,85 A
20 ° C	Metassilicato de potássio	com dietholate	4,79 B	4,82 B	3,10 B	0,00 B
		sem dietholate	18,50 A	17,66 A	17,66 A	18,33 A
	Metassilicato de sódio	com dietholate	1,06 B	1,75 B	2,06 B	1,81 B
		sem dietholate	3,68 A	4,10 A	4,91 A	5,36 A
			CV (%)= 17,31			

\*Médias de índice de velocidade de germinação entre com e sem dietholate não seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Em relação à temperatura, na variável índice de velocidade de germinação, observou-se de modo geral, que as sementes tratadas com dietholate e suplementadas com Si na fonte metassilicato de potássio, das quatro comparações realizadas, 75% apresentaram maior índice de velocidade de germinação em temperatura de 20 °C, em relação com as temperaturas de 5 e 10 °C. Em contra partida, para a fonte metassilicato de sódio, das quatro comparações realizadas, o índice de velocidade de germinação se mostrou 100% mais elevado nas temperaturas de 5 e 10 °C em comparação com a temperatura de 20 °C (Tabela 6).

Para as sementes sem tratamento com dietholate e suplementadas com metassilicato de potássio e metassilicato de sódio, das quatro comparações realizadas para cada uma das fontes de Si, 100% dos tratamentos apresentaram maior índice de velocidade de germinação em temperatura de 20 °C para a fonte metassilicato de potássio, e em 10 °C para a fonte metassilicato de sódio, em relação as demais temperaturas (Tabela 6).

Pesquisas mostram que sementes revestidas (com tratamento de sementes) necessitam de maior tempo para absorver a umidade do solo/substrato, podendo retardar o processo de germinação em até 48 horas a mais que as sementes sem tratamento com dietholate (COSTA *et al.*, 2001) assim como o retardamento da penetração de oxigênio na semente, dificultando o processo germinativo (GALON *et al.*, 2011) e afetando o desencadeamento dos processos metabólicos e bioquímicos da germinação (MISTURA *et al.*, 2008). Somando-se a isto, a ocorrência de frio no estabelecimento da cultura também ocasiona atraso tanto na germinação quanto na emergência de plântulas (MERTZ *et al.*, 2009) amplificando o efeito retardante provocado pelo dietholate em função da redução do vigor das semente, que promove. Um bom desempenho nesses estádios é importante para garantir rápido e uniforme estabelecimento das plantas de arroz, incrementando a capacidade competitiva dessas em relação às plantas daninhas (CONCENÇO *et al.*, 2007).

Tabela 6 – Médias do índice e velocidade de germinação de sementes de arroz, sob diferentes cultivares, tratamentos de semente, fontes e doses de silício para o fator temperaturas. Santa Maria, RS, 2019.

TRATAMENTOS DE SEMENTE	FONTE DE SILÍCIO	TEMPERATURA	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
			0	4,0	8,0	16
com dietholate	Metassilicato de potássio	5 ° C	2,401 B	3,151 B	2,55 A	2,40 A
		10 ° C	2,48 B	2,92 B	3,07 A	2,54 A
		20 ° C	4,79 A	4,83 A	3,10 A	0,00 B
	Metassilicato de sódio	5 ° C	2,11 AB	3,94 A	4,04 A	3,70 A
		10 ° C	3,25 A	3,94 A	4,94 A	3,91 A
		20 ° C	1,06 B	1,75 B	2,06 B	1,81 B
sem dietholate	Metassilicato de potássio	5 ° C	3,71 C	3,52 C	4,105 C	4,50 C
		10 ° C	9,08 B	8,44 B	8,86 B	8,80 B
		20 ° C	18,50 A	17,66 A	17,66 A	18,33 A
	Metassilicato de sódio	5 ° C	3,56 A	3,81 B	4,70 B	5,17 B
		10 ° C	4,04 A	5,48 A	6,16 A	6,85 A
		20 ° C	3,68 A	4,10 B	4,91 B	5,36 B
CV (%)= 17,31						

\*Médias do índice de velocidade de germinação entre as temperaturas não seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Na análise de regressão das doses de Si para a variável índice de velocidade de germinação (Figura 2), observou-se que as sementes tratadas com dietholate na fonte metassilicato de potássio sob temperatura de 20 °C e na fonte metassilicato de sódio em temperatura de 10 °C obtiveram um aumento quadrático no índice de velocidade de germinação, com pontos de máximo nas doses 2,33 e 9,44 mg L<sup>-1</sup> respectivamente. As demais temperaturas não tiveram ajustes significativos de modelos polinomiais para ambas as fontes de Si.

Analisando as sementes sem tratamento com dietholate, as doses de metassilicato de potássio ajustaram-se de forma quadrática em temperatura de 10 °C, com ponto de máxima na dose 8,3 mg L<sup>-1</sup>. As demais temperaturas de 5 e 20 °C não tiveram ajustes significativos de modelos polinomiais.

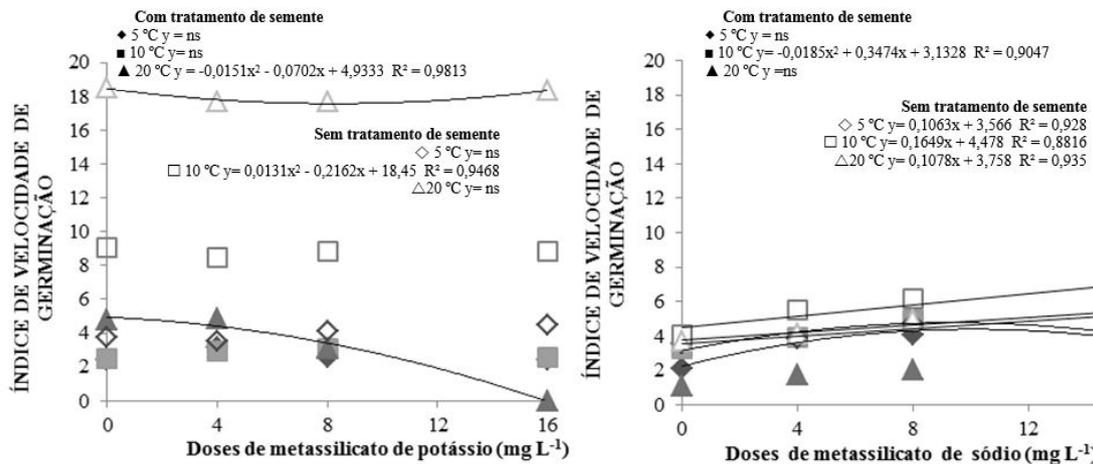
Para a fonte metassilicato de sódio houve um aumento linear no índice de velocidade de germinação das sementes sem dietholate, nas três temperaturas (5, 10 e 20 °C) (Figura 2).

O Si melhorou os processos fisiológicos do índice e velocidade de germinação, nas sementes tratadas e não tratadas com dietholate e sob estresse por baixas temperaturas. De acordo com Epstein (1994) e Datnoff *et al.* (2007) entre os benefícios do Si pode-se citar a adaptação das plantas a condições adversas, condições estas, que são proporcionadas durante a execução deste teste de índice de velocidade de germinação.

Os resultados encontrados no presente trabalho estão de acordo com os verificados por Rafi *et al.* (1997), com sementes de trigo por Pereira *et al.* (2010), Vieira *et al.* (2011) em sementes de arroz e por Matichenkov *et al.* (2005) em sementes de trigo, todos encontraram

em seus trabalhos resultados positivos com a adição de Si, maximizando-se o vigor das sementes tratadas. De encontro, Oliveira *et al.*, (2016) verificaram que o tratamento de sementes com Si não interferiu no índice de velocidade de germinação da cultivar BRS Querência em testes de envelhecimento acelerado e por frio. Tavares *et al.* (2011), que trabalharam com tratamento de Si em sementes de trigo, Santos *et al.* (2010), com sementes de brachiaria e Toledo *et al.* (2011) com sementes de aveia branca, também não encontraram efeitos significativos com a aplicação do Si nestas culturas.

Figura 2 – Relação entre o índice de velocidade de germinação das cultivares IRGA 424 RI e Guri INTA CL, com e sem tratamento de semente com dietholate, sob diferentes temperaturas e doses de Si de diferentes fontes, metassilicato de sódio e metassilicato de potássio. Santa Maria, RS, 2019



No que diz respeito às fontes de Si para a variável índice de velocidade de germinação, observou-se que ambas as fontes de Si mostraram-se eficazes na mitigação dos efeitos oxidativos do protetor dietholate, desencadeados pelo estresse por frio. De modo geral, nas sementes sem tratamento com dietholate, das três comparações realizadas para cada uma das temperaturas de 10 e 20 °C, foi possível observar que 100% apresentação maior índice e velocidade de germinação quando suplementadas com Si na fonte metassilicato de potássio. Já em temperatura de 5 °C não houve diferença significativa entre as fontes de Si (Tabela 7).

Para as sementes tratadas com dietholate, de modo geral, das três comparações realizadas para a temperatura de 5 °C observou-se, que a fonte metassilicato de sódio foi 67% mais eficiente no aumento do índice de velocidade de germinação em comparação com a fonte metassilicato de potássio. Em contrapartida, das três comparações realizadas para cada uma das temperatura de 10 e 20 °C, respectivamente 33 e 67% a fonte metassilicato de potássio foi mais eficiente no aumento do índice de velocidade de germinação das sementes, em comparação com a fonte metassilicato de sódio (Tabela 7).

Essa diferença entre as fontes deve-se, possivelmente, pelas diferentes composições de cada uma delas. A fonte metassilicato de potássio, por exemplo, possui em sua formulação 15% de potássio (K), o qual é requerido como cofator de mais de 40 enzimas, além de ser o principal cátion no estabelecimento do turgor celular e manutenção da eletroneutralidade celular (WANG; WU, 2013).

Tabela 7 – Médias do índice de velocidade de germinação de sementes de arroz, sob diferentes temperaturas, cultivares, tratamentos de semente e doses de silício para o fator fontes de silício. Santa Maria, RS, 2019.

TEMPERATURA	TRATAMENTO DE SEMENTE	FONTE DE SILÍCIO	DOSE DE SILÍCIO (mg L <sup>-1</sup> )			
			0	4,0	8,0	16
5 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	2,40	3,15 A	2,55 B	2,39 B
		Metassilicato de sódio	2,11	3,94 A	4,04 A	3,70 A
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	3,71	3,51 A	4,10 A	4,50 A
		Metassilicato de sódio	3,56	3,81 A	4,70 A	5,17 A
10 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	2,48	2,93 A	3,07 B	2,54 A
		Metassilicato de sódio	3,24	3,94 A	4,95 A	3,91 B
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	9,08	8,44 A	8,86 A	8,80 A
		Metassilicato de sódio	4,05	5,48 B	6,16 B	6,85 B
20 ° C	com dietholate	Metassilicato de potássio	4,78	4,82 A	3,10 A	0,00 B
		Metassilicato de sódio	1,06	1,75 B	2,06 B	1,81 A
	sem dietholate	Metassilicato de potássio	18,50	17,66 A	17,66 A	18,33 A
		Metassilicato de sódio	3,68	4,10 B	4,92 B	5,36 B
CV (%)= 17,31						

\*Médias de índice de velocidade de germinação entre as fontes de silício não seguidas por mesma letra na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

## Conclusão

O processo germinativo das sementes de arroz e o índice de velocidade de germinação foi influenciado negativamente pelo tratamento de semente com dietholate, principalmente em temperatura de 5 e 10 °C.

A cultivar IRGA 424 RI é mais resistente ao estresse por baixas temperaturas e aos efeitos fitotóxicos do protetor dietholate.

O Si aumentou a porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes tratadas e não tratadas com dietholate.

Portanto, o Si atenua o estresse oxidativo em sementes de arroz tratadas e não tratadas com dietholate sob estresse por frio.

## Referências

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. **Biotechnol Adv**, v. 28, n. 1, p. 169-183, 2010.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environ. Exp. Bot.**, v. 59, p. 206-216, 2007.

CAYLEY, S.; LEWIS, B. A; RECORD, J.R. Origins of the osmoprotective properties of betaine and proline in *Escherichia coli* K-12. **J. Bacteriol**, v. 175, p. 1586-1595, 1992.

CONCENÇÃO, G. *et al.* Emergência e crescimento inicial de plantas de arroz e capim arroz em função do nível de umidade do solo. **Planta Daninha**, v. 25, p. 457-463, 2007.

- COSTA, C. E. L.; SILVA, R. F.; LIMA, J. O. G.; ARAÚJO, E. F. Sementes de cenoura, *Daucus carota* L., revestidas e peliculadas: germinação e vigor durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 26, p. 36-45, 2001.
- CRUZ, R. P. da; DUARTE, I. T.; CABREIRA, C. Inheritance of rice cold tolerance at the seedling stage. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, p. 669-674, 2010.
- DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E.; ELMER W.H.; HUBER D.M. (Eds.) **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul MN: APS Press, 2007.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicium in plant biology. **Proceeding National Academic Science**, v. 91, p. 11-17, 1994.
- ETESAMI, H.; JEONG, B.R; Silicon (Si): reviewand future prospectsontheactionmechanisms in alleviatingbioticandabioticstresses in plants. **Ecotoxicologyand Environmental Safety**, v. 147, p. 881-896, 2017.
- FERHATAGLU, Y. AVDIUSHKO, S. BARRET, M. The basic for safening of clomazone by phorate insecticide in cottonand inhibitors of cytochrome p450s. **Pesticide Biochemistry Physiology**, v. 81, n. 1, p. 7-14, 2006.
- FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia vegetal. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 175-204, 2000.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- GALON, L.; DE GOES MACIEL, C. D.; AGOSTINETTO, D.; CONCENÇO, G.; MORAES, P. V. D. Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 291-304, 2011.
- GILL S. S., ANJUM, N. A., HASANUZZAMAN, M. Glutathione and glutathione reductase: a boon in disguise for plant abiotic stress defense operations. **Plant Physiol Biochem**, v. 70, p. 204-212, 2013.
- GRATÃO P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J., AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 481-494, 2005.
- HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Free Radicals in Biology and Medicine. In: HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. (Eds.) **Free Radicals in Biology and Medicine**. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- HUANG, J.; SUN, S.; XU, D.; LAN, H.; SUN, H.; WANG, Z. *et al.* A TFIIIA-type zinc finger protein confers multiple abiotic stress tolerances in transgenic rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Mol Biol**, v. 80, p. 337-350, 2012.

- KARAM, D. *et al.* Seletividade da cultura do milho ao herbicida clomazone por meio do uso de dietholate. **R. Bras. Milho Sorgo**, v. 2, n. 1, p. 72-79, 2003.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic, 1980.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.
- MATICHENKOV, V. V.; KOSOBROUKHOV, A. A.; SHABNOVA, N. I.; BOCHARNIKOVA, E. A. Plant response to silicon fertilizers under salt stress. **Agrokimiya**, Moscow, v.10, p.59-63, 2005.
- MERTZ, L.; HENNING, F. A.; SOARES, R. C.; BALDIGA, R. F.; PESKE, F. B.; DE MORAES, D. M. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 262-270, 2009.
- MISTURA, C. C.; BRANCO, J. C.; FREITAS, D. C.; ROSENTHAL, M. D.; MISTURA, C. C.; BRANCO, J. C.; FREITAS, D. A. C. Influência do protetor de sementes dietil fenil fosforotioato sobre plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 2, p. 231-238, 2008.
- OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; MENDONÇA, A. O. DIAS, L.W; BRUNES, A. P; LEITZKE, I. D; MENEGHELLO; TAVARES, L. C. Tratamento de sementes de arroz com silício e qualidade fisiológica de sementes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 202-209, 2016.
- PEREIRA, E. M.; VIEIRA, A. R.; REIS, M. S.; SOARES, A. A.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M. Qualidade fisiológica e enzimática de sementes de arroz de terras altas produzidas com diferentes doses de silício. 19º Congresso de Pós-Graduação UFLA, Lavras - MG. **Anais**, UFLA, p. 22-26, 2010.
- RAFI, M. M.; EPSTEIN, E.; FALK, R. H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v 151, p. 497-501, 1997.
- ROSA, T. D.; HELGUEIRA, D. B.; ALMEIDA, A. S.; SOARES, V. N.; MATTOS, F. P.; MEDEIROS, D. C. Vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com dietholate isolado e em combinação em duas temperaturas. **Tecnol. & Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 2, p. 59-62, 2017.

SANCHOTENE, D. M.; KRUSE, N. D.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L.O; NICOLODI, G. A.; DORNELLES, S. H. B. D. Efeito do protetor dietholate na seletividade de clomazone em cultivares de arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 339-346, 2010.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 854-862, 2005.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Farroupilha: SOSBAI, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPH, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAVARES, L. C.; BRAZ, H. S.; TUNES, L. M.; FONSECA, D. A. R.; BARROS, A. C. S. A. Desempenho de sementes de trigo recobertas com silício. In: XX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. **Anais**. Pelotas, 2011.

TENBROOK, P. L.; TJEERDEMA, R. S. Biotransformation of clomazone in rice (*Oryza sativa*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*). **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 85, n. 1, p. 38-45, 2006.

TOLEDO, M. Z.; CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATO, R. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Physiological quality of soybean and wheat seeds produced with alternative potassium sources. **Revista Brasileira de sementes**, v. 33, n. 2, p. 363-371, 2011.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; CARVALHO, M. L.; PEREIRA, E. M.; CARVALHO, B.O. Qualidade de sementes de arroz irrigado produzidas com diferentes doses de silício. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 490-500, 2011.

YOSHIDA, S. **Fundamental of Rice Crop Science**. Philippines: International Rice Research Institute, 1981.

YUN, M. S. *et al.* Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and - susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 83, n. 2-3, p. 107-114, 2005.