

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Felipe Vedovatto

**SILÍCIO NO CONTROLE DE *Colletotrichum lindemuthianum* EM
FEIJOEIRO**

Santa Maria, RS
2017

Felipe Vedovatto

SILÍCIO NO CONTROLE DE *Colletotrichum lindemuthianum* EM FEIJOEIRO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação de Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria UFSM, RS, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Marlove Fátima Brião Muniz

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vedovatto, Felipe
SILÍCIO NO CONTROLE DE Colletotrichum lindemuthianum
EM FEIJOEIRO / Felipe Vedovatto.- 2017.
55 p.; 30 cm

Orientadora: Marlove Fátima Brião Muniz
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2017

1. Antracnose 2. Phaseolus vulgaris 3. Silicatos I.
Fátima Brião Muniz, Marlove II. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Felipe Vedovatto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Email: felipevedovatto@yahoo.com.br

Felipe Vedovatto

SILÍCIO NO CONTROLE DE *Colletotrichum lindemuthianum* EM FEIJOEIRO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 16 de fevereiro de 2017:



Marlove Fátima Brião Muniz, Dra.
(Presidente/Orientador)



Ubirajara Russi Nunes, Dr. (UFSM)



Lilian Vanussa Madruga de Tunes, Dra. (UFPel)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me iluminar e me dar forças essa caminhada e por tudo que o Senhor fez na minha vida.

Agradeço a toda minha família, ao meu pai, minha mãe e ao meu irmão pelo amor, pela força e pelo incentivo.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar um sonho em cursar uma Pós-Graduação.

Agradeço a Prof^a. Dr^a. Marlove Fátima Brião Muniz, pela oportunidade, pela orientação e pela confiança deposita em mim para o desenvolvimento do mestrado.

Agradeço ao professores Dr. Ubirajara Russi Nunes e ao Dr. Sidinei José Lopes pela Co-orientação deste trabalho e pela ajuda nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao professor Dr. João Marcelo Santos de Oliveira pela ajuda e apoio na realização deste trabalho.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço aos colegas do laboratório de Fitopatologia, a Maria e a prof^a. Ph.D. Elena pela ajuda, apoio e pela companhia.

Enfim, agradeço a todos que participaram de alguma forma, **MUITO OBRIGADO**, que Deus abençoe cada um.

Seja você quem for, seja qual for à posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

Ayrton Senna

RESUMO

SILÍCIO NO CONTROLE DE *Colletotrichum lindemuthianum* EM FEIJOEIRO

AUTOR: Felipe Vedovatto

ORIENTADORA: Dr^a. Marlove Fátima Brião Muniz

A antracnose do feijoeiro é causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc & Magnus) Scribner, sendo considerada uma das principais doenças que atacam a cultura, podendo ocasionar perdas e diminuição da produtividade final e uma das alternativas de controle mais utilizadas é a indução química e genética de resistência. O uso do silício na agricultura apresenta vários benefícios, tais como: diminuição de toxidez por metais, alívio do estresse salino e da falta de água, aumento da resistência a ventos fortes, aumento da resistência a patógenos e insetos, entre outros. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do silício como indutor de resistência à antracnose do feijoeiro, utilizando diferentes fontes no recobrimento de sementes. Foram utilizadas quatro fontes de silício: cinza de casca de arroz carbonizada, pó de rocha produto comercial Potency[®], o produto comercial Supa Sílica, Agrichem[®] e o produto comercial Silicon SiO₂, Rigrantec[®]. Foram conduzidos dois experimentos: no experimento 1 foram testadas as fontes de silício aplicadas em sementes da cultivar IPR Graúna, suscetível a antracnose, através da avaliação sanitária e fisiológica das sementes, e foi realizada a análise histológica das plântulas e do tegumento das sementes para detectar a presença de silício. A fonte de silício que apresentou as melhores respostas para o controle da antracnose, no experimento 1, foi utilizada no experimento 2, que foi realizado em campo, com duas cultivares de feijão suscetíveis a antracnose (IPR Graúna e IPR Uirapuru), onde foram avaliadas a emergência e sintomas nas plântulas. Foi possível identificar silício nas folhas primárias de plântulas de feijão, somente para o tratamento com silício oriundo do produto comercial Silicon SiO₂, Rigrantec[®]. A aplicação de silício reduz efeito negativo da inoculação com *Colletotrichum lindemuthianum* nas sementes de feijão.

Palavras-chave: Antracnose. *Phaseolus vulgaris*. Silicatos.

ABSTRACT

SILICON IN THE CONTROL OF *Colletotrichum lindemuthianum* IN BEAN PLANT

AUTHOR: Felipe Vedovatto
ADVISOR: Dr^a. Marlove Fátima Brião Muniz

The bean plant anthracnose is caused by fungus *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc& Magnus) Scribner, which is considered one of the main diseases that attacks the culture, which might cause losses and final productivity decrease and one of the most used alternative of control is the chemical and genetic induction of resistance. The use of silicon in agriculture presents many benefits, such as: decrease of toxicity by metals, relief of saline stress and lack of water, increase of resistance to strong winds, increase of resistance to pathogens and insects, among others. Thus, the present paper has the aim of evaluating the effect of silicon as inductor of resistance to anthracnose in bean plant, by using different sources in the seeds' coating. It was used four sources of silicon: ash of carbonized rice hull, dust of rock commercial product Potency[®], the commercial product Supa Sílica, Agrichem[®] and the commercial product Silicon SiO₂, Rigrantec[®]. It was conducted two experiments: in experiment 1 it was tested the silicon sources applied in seeds of culture IPR Graúna, susceptible to anthracnose, through sanitary and physiological evaluation of seeds and it was carried out the histological analysis of seedlings and tegument of the seeds to detect the presence of silicon. The silicon source which presented the best answers to the anthracnose control, in experiment 1, was used in experiment 2, that was performed in the field, with two cultures of bean susceptible to anthracnose (IPR Graúna and IPR Uirapuru), where it was assessed the emergency and symptoms in the seedlings. It was possible to identify silicates in the primary leaves of bean seedlings, deriving from silicon source Silicon SiO₂, Rigrantec[®]. The application of silicon reduces the negative effect of inoculation with *Colletotrichum lindemuthianum* in bean seeds.

Keywords: Anthracnose; *Phaseolus vulgaris*; Silicates

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição do tratamento das sementes de feijão da cultivar IPR Graúna com diferentes fontes de silício e doses.....	27
Tabela 2 - Combinação de tratamentos das duas cultivares de feijão (IPR Graúna e IPR Uirapuru) com uma fonte de silício (Supa Sílica, Agrichem [®]) para a semeadura em campo.....	32
Tabela 3 - Testes de germinação e de incidência de <i>C. lindemuthianum</i> nas determinações iniciais da qualidade das sementes de feijoeiro para cultivares IPR Graúna e IPR Uirapuru.....	33
Tabela 4 - Médias (%) de plântulas normais (PN), anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com <i>C. lindemuthianum</i> (PI) e sementes mortas (M) para o teste de germinação de sementes de feijoeiro submetidas a diferentes tratamentos.....	35
Tabela 5 - Médias de comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA), massa verde (MV) e massa seca (MS) a partir de sementes de feijão submetidas a diferentes tratamentos com silício.....	37
Tabela 6 - Médias (%) de plântulas normais (PN), anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com <i>C. lindemuthianum</i> (PI) e sementes mortas (M) da avaliação da incidência de <i>C. lindemuthianum</i> nas sementes de feijoeiro tratadas com diferentes fontes de silício.....	39
Tabela 7 - Médias (%) de emergência, plântulas anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com <i>C. lindemuthianum</i> (PI) e sementes mortas (M) do teste de emergência em casa de vegetação.....	40
Tabela 8 - Médias do comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA), massa verde (MV) e massa seca (MS) de plântulas em casa de vegetação oriundas de sementes de feijão submetidas a diferentes tratamentos com silício.....	42
Tabela 9 - Médias (%) de emergência e de plântulas infectadas com <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> (PI) da avaliação das sementes de feijoeiro tratadas com silício em campo.....	44

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Isolamento do fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. Vagem infectada pelo fungo (A). Massa de conídios de cor salmão do fungo (B). Esporo na fase de germinação (C)24
- Figura 2 - Processo de esporulação do *Colletotrichum lindemuthianum*. Vagens cortadas antes da esterilização (A). Vagens com presença de esporos (B) e (C)25
- Figura 3 - Bandejas com as camadas de papel umedecido + sementes, para a inoculação de *Colletotrichum lindemuthianum*26
- Figura 4 - Protrusão radicular em sementes de feijão condicionadas em bandejas com BDA + restritor (manitol)26
- Figura 5 - Imagem da gramínea *Paspalum intermedium* utilizada para determinação da presença de silício30
- Figura 6 - Identificação de silicatos nos tecidos de plântulas oriundas de tratamento de sementes tratadas com diferentes fontes de silício Cortes das folhas primárias e cotilédones das plântulas de feijão, oriunda do tratamento de sementes com Silicon SiO₂ (A). Cortes histológicos em contato com cristais de fenol (B)31
- Figura 7 - Cortes histológicos para identificação da presença de silício nos tecidos das plantas. Identificação de silicatos na folha da gramínea *Paspalum intermedium* (A). Silicatos identificado em folhas primárias de plântulas de feijão, submetidas ao tratamento com a fonte Silicon SiO₂, Rigrantec® (B)43
- Figura 8 - Lesões nos cotilédones de plântulas de feijão infectadas pelo *Colletotrichum lindemuthianum*, causador da antracnose em feijoeiro.....45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJOEIRO	13
2.2	ANTRACNOSE EM FEIJOEIRO	14
2.3	QUALIDADE DAS SEMENTES.....	15
2.4	TRATAMENTO DE SEMENTES	16
2.5	INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA	17
2.6	SILÍCIO.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	22
3.2	EXPERIMENTO 1: AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE SILÍCIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES	22
3.2.1	Obtenção da cinza de casca de arroz.....	22
3.2.2	Obtenção das amostras.....	22
3.2.3	Determinações do teor de água das sementes	23
3.2.4	Isolamento do fungo	23
3.2.5	Esporulação do fungo.....	24
3.2.6	Inoculação do <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> nas sementes de feijão	25
3.2.7	Tratamento de sementes e determinações da qualidade fisiológica e sanitária	27
3.2.8	Análise estatística	29
3.2.9	Análise da presença de silicatos nos tecidos de plântulas de feijoeiro oriundas de sementes tratadas com diferentes fontes de silício.....	29
3.3	EXPERIMENTO 2: AVALIAÇÃO DA REÇÃO À <i>Colletotrichum</i> <i>lindemuthianum</i> EM PLANTAS DE FEIJÃO, ORIUNDAS DE SEMENTES TRATADAS COM SILÍCIO.....	31
3.3.1	Análise Estatística.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	DETERMINAÇÕES INICIAIS DA QUALIDADE DAS SEMENTES.....	33
4.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DAS SEMENTES DE FEIJÃO TRATADAS COM DIFERENTES FONTES DE SILÍCIO	34
4.2.1	Identificação de silício nos tecidos vegetais de plântulas de feijão.....	42
4.3	AVALIAÇÃO DE EMERGÊNCIA A CAMPO.....	44
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A - ANÁLISE DE SOLO (AMOSTRA 1) UTILIZADA NO EXPEIRMENTO A CAMPO NO MUNICÍPIO DE CRUZALTENSE	54

1 INTRODUÇÃO

O feijão é a base alimentar de pessoas de diferentes classes sócio-econômicas e de nacionalidades, por ser um produto rico em vários nutrientes essenciais para o ser humano. No Brasil, não é diferente do resto mundo, o feijão está presentes no prato dos brasileiros de Norte a Sul e de Oeste a Leste.

Atualmente, o feijoeiro é cultivado em todas as regiões brasileiras, com destaque para Centro-Oeste, Sul e Sudeste, sendo cultivado em três safras por ano dependendo da região. Segundo a Conab (2016a) é a quinta cultura mais produzida no território brasileiro. A área de cultivo do feijão apresenta-se bastante variável, dependendo do ano e das condições do mercado interno e externo (BEVILAQUA et al., 2013).

Na cultura do feijoeiro há registro de várias doenças, sendo a antracnose a mais importante. A antracnose é causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, sendo considerada uma das doenças mais importantes, transmitida pelas sementes (VECHIATO et al., 2001), causando severas perdas. Esta doença pode ocasionar perdas de 100% de plântulas oriundas das sementes infectadas e a conseqüente redução da produtividade. O manejo de doenças é importante, pois essas podem prejudicar o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

O patógeno causador da antracnose sobrevive dormente dentro do tegumento das sementes, na forma de esporos, e em restos culturais de uma estação a outra ou ainda de um cultivo a outro (COSTA, 2002).

Sementes de qualidade (alta germinação e vigor, com alta pureza genética e física) são a chave de sucesso para os cultivos de feijoeiro, por reduzir problemas, diminuir custos de produção e atingir a potencial produtivo de uma determinada cultivar (LOBO JÚNIOR; BRANDÃO; MARTINS, 2013).

O tratamento de sementes é importante, pois visa reduzir e prevenir perdas ocasionadas por patógenos associados às sementes e complementa as demais medidas de controle, melhora o padrão da lavoura, diminui riscos desfavoráveis, tem baixo custo e reduz o potencial de inóculo nas lavouras (BEVILAQUA et al., 2013).

A alta variabilidade do agente causal da antracnose do feijoeiro força os produtores a protegerem as suas lavouras através do uso de fungicidas, muitas vezes de maneira indiscriminada, e isso tem levado à busca de alternativas para o

controle de doenças nas plantas, tais como o emprego do controle biológico e da indução de resistência (PIERO; GARDA, 2008).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, só perde para o oxigênio (MENDES; SOUZA; MACHADO, 2011). Na agricultura, o silício não é considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas (MENDES; SOUZA; MACHADO, 2011), e possui vários benefícios: resistência a doenças e insetos, redução da toxidez por metais, resistência estrutural, resistência a estresse salino e proteção contra temperatura extremas (EPSTEIN, 2001). A acumulação de silício nas plantas depende da espécie, as plantas monocotiledôneas acumulam mais do que as dicotiledôneas (MA; YAMAJI, 2006).

Diante do exposto, a necessidade de pesquisas com novas metodologias e alternativas para o controle da antracnose do feijoeiro é pertinente. Uma das alternativas para o controle do patógeno é o uso do silício no controle do patógeno.

Dessa forma, o objetivo do trabalho é avaliar o efeito do silício como indutor de resistência à antracnose do feijoeiro, utilizando diferentes fontes no recobrimento de sementes. Avaliando a melhor fonte de silício no controle da antracnose do feijoeiro, testar diferentes fontes de silício através da avaliação da qualidade fisiológica, sanitária e físicas das sementes do feijão, determinar a presença de silício nos tecidos das plântulas e no tegumento das sementes e a avaliar a melhor fonte de silício no campo em duas cultivares suscetíveis à antracnose.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJOEIRO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), pertence à família Fabaceae e é originário da Américas Central e do Sul (BEVILAQUA et al., 2013). A cultura é um dos principais produtos usados na dieta alimentar, por ser rico em proteína, possuir carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos (ABREU, 2005a). Devido às propriedades nutritivas e terapêuticas, é altamente desejável como componente de dietas para combate à fome e à desnutrição (AIDAR, 2003).

A produção mundial de feijão no ano de 2014 foi de 26,53 milhões de toneladas (FAO, 2014). No Brasil, estima-se uma produção de 3.107,4 milhões para a safra de 2016/2017, com um aumento de 23,6% comparada com a safra 2015/2016 que foi de 2.514,9 milhões de toneladas (CONAB, 2016b). Este aumento é devido à fatores climáticos favoráveis, possibilitando boas condições de solo e avanço da área semeada e as cotações elevadas do produto. O feijão representa 1,35% da produção total de grãos no Brasil, ficando em quinto lugar, sendo que a soja está em primeiro lugar com 51,20% (CONAB, 2016a).

A produção de sementes de feijão no Brasil para a safra 2014/2015 foi de 32,59 toneladas e a taxa de utilização de sementes foi de 19%. No Rio Grande do Sul, a produção de sementes foi 1,67 toneladas e a taxa de utilização de sementes foi de 3% para a safra de 2014/2015 (ABRASEM, 2015).

O consumo de feijão de grão preto é predominantemente no Rio Grande do Sul, cerca de 90% do volume produzido, no resto do Brasil, o feijão tipo Carioca predomina, e em nível internacional, o feijão de grão preto é o mais consumido (BEVILAQUA et al., 2013).

O feijão-comum é cultivado tanto por pequenos como por grandes produtores, em diversos sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras. Podendo ser em sistemas altamente tecnificados ou com baixo uso tecnológico, principalmente de subsistência (AIDAR, 2003). No Rio Grande do Sul, o feijão é cultivado na primeira e segunda safra e totalizou uma produção de 122,0 mil toneladas na safra de 2015/2016 (CONAB, 2016a).

Na escolha da área para o cultivo do feijão deve-se observar os seguintes aspectos: a área não deve ter sido cultivada com feijão em anos anteriores, verificar

a presença de plantas daninhas, assim evitando a contaminação dos grãos, evitar locais baixos úmidos ou com vento forte, propícios a doenças e geadas, e escolher uma área de boa fertilidade (BELIVAQUA, et al., 2013).

As doenças da cultura do feijoeiro são muitas e ocasionam perdas de produtividade, prejudicando o seu desenvolvimento. Elas podem ser ocasionadas por diferentes microrganismos, tais como: fungos, bactérias e vírus (BIANCHINI; MARINGONI; CARNEIRO, 2005).

2.2 ANTRACNOSE EM FEIJOEIRO

A antracnose do feijoeiro é causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* e é considerada umas das principais doenças da cultura, podendo ocasionar perdas totais na lavoura (BIANCHINI; MARINGONI; CARNEIRO, 2005).

O gênero *Colletotrichum*, corresponde à fase anamórfica e na fase teleomórfica corresponde a *Glomerella*, pertencente à família Glomerellaceae, produzindo ascocarpos do tipo peritécio, parcial ou completamente submerso no tecido, e no seu interior possui os ascos e ascósporos (MASSOLA JÚNIOR; KRUGNER, 2011).

A antracnose está frequentemente presente nas sementes produzidas e/ou nas vagens infectadas. As sementes infectadas, quando semeadas, muitas germinam e outras são mortas antes da emergência, e o fungo pode destruir um ou ambos os cotilédones (AGRIOS, 2005).

Os sintomas da antracnose podem ser observados em todas as partes da planta: nas plântulas as lesões dos cotilédones são pequenas de coloração marrom ou pretas e no hipocótilo apresentam lesões alongadas, superficiais ou deprimidas podendo levar a morte da plântula; as folhas apresentam sintomas nas nervuras com lesões necróticas de coloração marrom-escuro na face inferior. As lesões no caule e nos pecíolos são alongadas, escuras e às vezes deprimidas, já na vagem são geralmente circulares e deprimidas, de coloração marrom, com os bordos escuros e salientes, circundados por um anel pardo-avermelhado (BIANCHINI; MARINGONI; CARNEIRO, 2005).

O desenvolvimento do patógeno causador da antracnose é favorecido pelas temperaturas moderadas, entre 15°C e 22°C, e alta umidade relativa do ar, por um período de seis a nove horas. A sobrevivência do patógeno se dá nos restos

culturais e no interior das sementes, podendo ser transmitido a longas distâncias, pelo vento e por respingos da água da chuva (ABREU, 2005b). Devido à eficiência de transmissão via sementes e as perdas econômicas qualificam a antracnose como a mais importante doença fúngica foliar do feijoeiro (REY; BALARDIN; PIEROBOM, 2005).

O fungo *Colletotrichum lindemuthianum* possui alta variabilidade, apresentando inúmeras raças de diferentes regiões do mundo. Segundo Balardin; Jarosz; Kelly (1997) testando um total de 138 isolados, oriundos da Argentina, Brasil, Republica Dominicana, Honduras, México e Estados Unidos, foram identificaram 41 raças, sendo que as raças 7, 65 e 73 são encontradas em mais de um local e as outras raças foram encontrada em apenas um país.

No Rio grande do Sul foram identificadas oito raças (5 BA-1, 17 alfa, 23 delta, 31 capa, 55 lambda, 65 epsilon, 73 lambda e 453 zeta) em diferentes locais do estado (BALARDIN, 1997). Já nos estados de São Paulo e Santa Catarina foram identificadas 10 raças (4, 38, 55, 65, 73, 81, 83, 85, 321, e 351) de 51 isolados de *C. lindemuthianum* coletados (RIBEIRO et al., 2016), e para o estado do Paraná foram identificadas 10 raças (65, 73, 75, 83, 85, 89, 95, 457, 475 e 1.609) de 23 isolados (OLIVEIRA; CARNEIRO; ROMANO, 2014).

Para o controle da antracnose do feijoeiro podem ser utilizadas as práticas culturais, tais como: uso de sementes de boa qualidade e rotação de culturas, tratamento químico das sementes e variedades resistentes, porém a capacidade de variabilidade patogênica tem dificultado o controle (COSTA, 2002).

2.3 QUALIDADE DAS SEMENTES

A qualidade das sementes é influenciada por diversas características, dentre elas: a genética, que envolve a pureza varietal, potencial de produtividade, resistências a doenças, pragas e condições sobre o solo e clima, precocidade e qualidade que grãos; física, que leva em consideração a pureza do lote, o grau de umidade, danos mecânicos, peso de 1000 sementes e peso volumétrico e aparência do lote para a comercialização; fisiológica, que envolve os metabolismos das sementes, a germinação, dormência e vigor; e sanitária, que por sua vez está relacionada às sementes livres de patógenos, sem prejudicar a viabilidade, vigor e também evitando uma disseminação (PESKE; BARROS, 2003). Segundo Zucareli et

al. (2015) estas características são necessárias para as plantas expressar todo o seu potencial e elevar o rendimento final da cultura.

O uso sementes de alta qualidade é um dos fatores para obtenção de elevadas produtividades. Com isso, a produção e a comercialização desse tipo de sementes se concretizam como uma necessidade e uma realidade no setor agrícola (DUTRA et al., 2012; MA; YAMAJI, 2006).

A qualidade fisiológica de uma semente está relacionada à capacidade de gerar uma nova planta, perfeita, vigorosa em condições favoráveis, podendo ser verificada pelo teste de germinação (percentual de sementes germinadas) e pelo vigor (LOBO JÚNIOR; BRANDÃO; MARTINS, 2013).

A qualidade sanitária das sementes precisa ser avaliada, pois a associação do patógeno com sementes abrange perdas diretas e também outras implicações que pode levar a danos irreparáveis a todo o sistema agrícola (PEDROSO et al., 2010).

Na cultura do feijoeiro, para se obter sucesso produtivo, a etapa de obtenção de sementes de qualidade é mais importante, pois a maturação desuniforme, baixa altura de inserção das primeiras vagens, momento da colheita e condições ambientais no período que permanecem no campo, afetam a qualidade das sementes (KAPPES et al., 2012).

No Brasil, as lavouras de feijão estão presentes praticamente em todo ano e em todas as regiões. Mas a falta de sementes de feijão do mercado e o uso de grãos próprios, em 90% das áreas comprometem o desempenho do sistema produtivo, não atingem os padrões de produção (Anexo A) e comercialização das sementes, tendo inúmeras conseqüências, tais como: falhas na germinação e demora na emergência, baixo desenvolvimento de plântulas, presença de doenças e aumento de custos e perdas na produção (LOBO JÚNIOR; BRANDÃO; MARTINS, 2013).

2.4 TRATAMENTO DE SEMENTES

O tratamento de sementes é uma medida que assegura o controle de doenças transmitidas por sementes, destacando as doenças ocasionadas por fungos. Esta prática tem o objetivo de erradicar os microrganismos patogênicos associados às sementes, impedir a transmissão do patógeno para a plântula nos

estádios iniciais de seu desenvolvimento, reduzir a fonte de inóculo, impedindo o surgimento de epidemias no campo e ainda deve minimizar os custos com defensivos de controle de doenças na parte aérea das plantas (PESKE; VILLELA, 2003). Também, alguns nutrientes são requeridos pela planta em pequenas quantidades e estes podem ser aplicados por meio do tratamento de sementes, sendo benéficos para o estabelecimento de plântulas no campo (OLIVEIRA et al., 2015a).

O controle de patógenos em sementes pode ser realizado por diferentes métodos, tais como: químico, biológico e físico. O método químico consiste em aplicar produtos químicos nas sementes; o biológico refere-se à incorporação artificial de organismos antagônicos nas sementes, significando uma maneira vantajosa no ponto de vista do controle integrado de doenças; e o físico consiste em expor as sementes ao calor (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A escolha de qual método usar para o tratamento de semente vai depender do tipo de patógeno a ser controlado (VIEIRA; RAVA, 2000).

O sucesso do tratamento de sementes depende do tipo e a posição do patógeno nas sementes e do seu vigor (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Segundo Vieira e Rava (2000) outras medidas como rotação de culturas, redução de inóculo no solo e uso de variedades resistentes ou tolerantes ajudam no sucesso do tratamento de sementes, mas antes de realizar o tratamento é necessário fazer um diagnóstico das condições sanitárias, fisiológicas do lote de sementes a ser tratado e o histórico da área, também as sementes deverão ser tratada para o plantio em áreas já cultivadas ou novas.

2.5 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

O tratamento com diferentes agentes pode levar à indução de resistência na planta, ao ataques de agentes patogênicos, de forma local ou sistêmica, podendo ocasionar uma redução do número e tamanho das lesões (WALTERS et al., 2005).

A resistência de um hospedeiro pode ser definida como a capacidade de atrasar ou evitar a entrada ou atividade de um patógeno em seus tecidos (PASCHOLATI, 2011). Os mecanismos de resistência das plantas contra patógenos, segundo o mesmo autor, podem ser divididos em duas categorias de fatores: pré-formados e pós-formados e são divididos em estruturais e bioquímicos. Os fatores

de resistência pré-formados estão presentes antes do ataque do patógeno, já os pós-formados estão ausentes ou presentes em baixo nível antes da infecção, produzidos ou ativados em resposta à presença do patógeno. Os fatores estruturais atuam como barreira física impedindo a entrada e colonização do patógeno, já os fatores bioquímicos ocorrem nas células do hospedeiro produzindo substâncias tóxicas ou criam condições adversas de crescimento no interior da planta.

A indução de resistência em plantas está relacionada a duas formas: a Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) e Resistência Sistêmica Induzida (RSI). A resistência sistêmica adquirida está relacionada a um agente patogênico ou parasita e a resistência sistêmica induzida refere-se a um agente benéfico, simbiote ou abiótico (BARROS et al., 2010).

A indução RSA é medida por duas vias hormonais da planta: via do ácido salicílico ou via do ácido jasmônico e etileno, e tem efeito duradouro, podendo persistir por semanas ou até o final da vida da planta, já a indução RSI, a via acionada é do ácido jasmônico e etileno (CAMARGO, 2011).

2.6 SILÍCIO

O silício é o segundo elemento mais abundante do planeta, sendo encontrado na forma de minerais silicatados (GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012).

O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido silícico (Si(OH)_4), presente na solução do solo e na solução de nutrientes para as plantas cultivadas sem uso de solo, sendo absorvido pelas raízes, vai até as folhas através da transpiração da planta, para polimerizar, essencialmente, os espaços extra celulares e as paredes de células epidérmicas nos locais de forte evapotranspiração (FAWE et al., 2001). Segundo Kim et al. (2002) na planta o silício é depositado na forma de gel sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). É considerado elemento imóvel na planta, sendo depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares colmos, cascas e raízes (MENDES; SOUZA; MACHADO, 2011), principalmente nos tecidos mais velhos da planta (MA; YAMAJI, 2006).

Existem espécies de plantas que apresentam diferentes níveis de acumulação do silício em tecido vegetal, geralmente as espécies monocotiledôneas são mais ricas em silício do que as dicotiledôneas. As gramíneas das zonas úmidas, Equisetaceae e Cyperaceae, são consideradas acumuladoras, apresentam 10 - 15%

de silício polimerizado (% de peso seco), e por outro lado gramíneas (1-3%) e dicotiledôneas (<0,5%), não são consideradas acumuladoras de silício (FAWE et al., 2001). Outros autores apresentam que plantas com teor de silício acima de um 1%, são consideradas plantas acumuladoras, aquelas que apresentam teor inferior a 0,5%, não são plantas acumuladoras de silício e aquelas que apresentam níveis entre 0,5-1,0% são plantas intermediárias (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

Na agricultura o silício não é considerado um elemento essencial, mas possui benefícios para as plantas tais como: incremento na resistência contra patógenos e insetos e, neutralização da toxicidade de nutrientes (Al, Mn, Cd, As, Fe), redução da absorção de nutrientes em excesso (K, P, Ca) e neutralização do estresse salino e hídrico (GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012). Na Legislação Brasileira, o Decreto nº 4.954, de 14 de Janeiro de 2004, que aprova o regulamento da Lei nº 6.984, de 16 de Dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura, classifica o silício como elemento essencial e benéfico para o crescimento e produção dos vegetais (BRASIL, 2004).

De acordo com Fauteux et al. (2005) o silício é um elemento bioativo, age em diferentes sistemas biológicos, e demonstra expressão nos mecanismos naturais de defesa e acumulação de fitoalexinas em plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas. Também o autor destaca que o silício na forma de ácido silícico, atua na reação de indução de defesa nas células e contribuiria para resistência sistêmica aumentando a produção de hormônios, mas o mecanismo exato de atuação continua obscuro. O silício poderia ser assimilado como um modulador semelhante aos compostos indutores de RSA (FAWE et al., 2001).

Segundo Fawe et al. (2001) resultados de pesquisas na interação patógeno-pepino, indicam que o silício solúvel parece ser ativo, como um sinal para induzir reações de defesa, sendo que essas são de natureza fenólica e são fortemente induzidas em um padrão de fitoalexinas.

Por suas características intrínsecas e seu comportamento na planta, o silício tem demonstrado a criação de uma barreira que restringe a penetração do fungo tanto em plantas monocotiledôneas quanto em dicotiledôneas (FAWE et al., 2001).

Através da análise de microscopia eletrônica e da microanálise, foi verificada por Kim et al. (2002) a deposição do silício nas paredes das células da epiderme,

nas lamelas médias e espaços intercelulares, e nos tecidos de folhas de arroz tratadas com silício e ainda, os autores destacam que o silício acumulado pode limitar a invasão e penetração de fungos, agindo assim como uma barreira física.

A ação do silício reduziu a infecção de *Ganoderma boninense* nas raízes de palmeira dendê (*Elaeis guineensis*) através do acúmulo de silício nas células epidérmicas e nas células endodérmicas das raízes, criando uma barreira física (NAJIHAH et al., 2015), e segundo Domiciano et al. (2013) o silício depositado abaixo da cutícula e na parede celular reduziu a infecção por *Bipolaris sorokiniana* em trigo e em plantas supridas com silício, a degradação da camada de cera só foi observada próximo ao ponto de infecção pelo fungo, sendo encontradas hifas distribuídas ao acaso na folha, já em plantas não supridas com silício, as hifas estavam presentes, em toda a folha.

O uso do silício tem demonstrado efeito positivo no controle de diferentes patógenos, como por exemplo: controle da mancha marrom nos grãos de arroz (DALLAGNOL et al., 2014), melhor emergência e sanidade de mudas de arroz infectadas com *Bipolaris oryzae* (DALLAGNOL; RODRIGUES; MIELLI, 2013), redução no progresso da brusone em arroz, reduzindo o número de lesões por cm² de área foliar, tamanho da lesão e a severidade e aumentando o período de incubação (CACIQUE et al., 2012) e, o uso de silicato de potássio, através da pulverização foliar, e silicato de cálcio no solo, reduziram o número de urédias por cm², resultando na redução dos sintomas da ferrugem asiática da soja (CRUZ et al., 2013).

O recobrimento das sementes de arroz com silício utilizando duas fontes (silicato de alumínio e silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada), em diferentes doses, proporcionou um incremento do vigor, avaliado pelo comprimento de raiz e pela emergência a campo e ainda, controlou a incidência de fungos nas sementes (TUNES et al., 2014).

Segundo Santos et al. (2014) o silício controlou o fungo *Colletotrichum sublineolum*, causador da antracnose em sorgo, reduzindo a severidade em resposta adubação como mineral diferentes genótipos de sorgo. Também, o uso do silício no controle da antracnose do feijoeiro, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, reduziu a severidade desta doença (CRUZ et al., 2014; MORAES et al., 2006).

O cultivo de feijão (cv. Pérola) em solução nutritiva com silício proporcionou aumento da resistência ao *C. lindemuthianum*, sugerindo que este aumento está associado à lignificação tecidual e à participação das enzimas quitanase, lipoxigenase e fenilalanina amônio-liase (POLANCO et al., 2012).

A aplicação de ácido silícico via foliar em soja, feijão e amendoim proporcionou aumento no número de vagens e da produtividade de grãos para as três culturas, 14, 15 e 9,6% respectivamente (CRUSCIOL et al., 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O trabalho foi organizado em dois experimentos, sendo o experimento 1 conduzido no Laboratório de Fitopatologia Elocy Minussi e na casa de vegetação pertencente ao Departamento de Defesa Fitossanitária do Centro de Ciências Rurais (CCR), no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes pertencente a Fitotecnia e o Laboratório de Botânica Estrutural, Departamento de Biologia, ambos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, e o experimento 2 foi conduzido em uma área rural do município de Cruzaltense, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas 27°36'53.8" S e 52°35'06.2" W.

3.2 EXPERIMENTO 1: AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE SILÍCIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES

3.2.1 Obtenção da cinza de casca de arroz

O processo de carbonização das cascas de arroz foi realizado sem a presença de oxigênio, seguindo a metodologia adaptada de Medeiros (1998). Para isso, foi utilizado um recipiente metálico perfurado e na sua tampa foi fixado um respirador. No interior do recipiente foram produzidas brasas para promoção do aumento da temperatura. As cascas de arroz foram colocadas no entorno do recipiente e permaneceram em contato até que fossem completamente carbonizadas. Posteriormente, as cascas de arroz carbonizadas foram moídas e peneiradas para obtenção das cinzas.

3.2.2 Obtenção das amostras

Neste experimento foram utilizadas as cultivares IPR Graúna e a cultivar IPR Uirapuru. A cultivar IPR Graúna foi desenvolvida pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), é suscetível a antracnose. As sementes são de coloração preta, com

ciclo em média de 86 dias (emergência à colheita), com florescimento aos 38 dias e o hábito de crescimento indeterminado (IAPAR, [2002?]).

A cultivar IPR Uirapuru foi desenvolvida pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), suscetível a antracnose. As sementes são de coloração preta, com ciclo em média de 86 dias (emergência à colheita), com florescimento aos 43 dias e o hábito de crescimento indeterminado (IAPAR, [2000?]).

Após o recebimento do lote de cada cultivar, foram realizadas determinações iniciais da qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes.

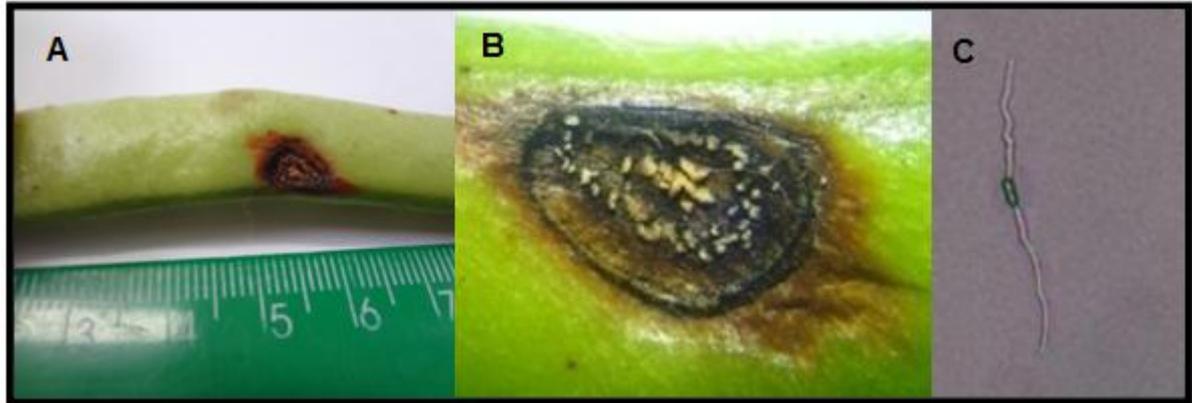
3.2.3 Determinações do teor de água das sementes

As sementes foram submetidas à determinação do teor de água, que foi realizada pelo método de estufa a 105°C, conforme as Regras de Análises de Sementes - RAS (BRASIL, 2009b). Foram utilizadas duas repetições com 5 g, em recipiente de alumínio com tampa. As amostras foram pesadas e colocadas na estufa com temperatura de 105°C por 24 horas, com os recipientes abertos e após, estes foram fechados transferidos para um dessecador contendo sílica gel, onde permaneceram por 15 minutos, e em seguida pesados e, calculado o teor de água expresso em porcentagem. As avaliações de germinação e sanidade foram realizadas conforme a metodologia descrita no item 3.2.7.

3.2.4 Isolamento do fungo

O fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, causador da antracnose em feijoeiro, foi isolado a partir de vagens infectadas (Figura 1), coletadas no município de Santa Maria, RS. O isolamento do fungo foi feito pelo método direto, que consiste na transferência de estruturas do patógeno para o meio de cultura (ALFENAS; MAFIA, 2016).

Figura 1 - Isolamento do fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. Vagem infectada pelo fungo (A). Massa de conídios de cor salmão do fungo (B). Esporo na fase de germinação (C)



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

Para isolamento foi coletada uma porção de massa de conídios de cor salmão, na lesão da vagem infectada, com o auxílio de uma agulha esterilizada, de um microscópio estereoscópico e ótico, e esta porção foi transferida para placas de petri vertidas com o meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar). Essas foram incubadas em estufa BOD, com temperatura de 20°C e com fotoperíodo de 24 horas de escuro.

Após o crescimento do fungo realizou-se a purificação da colônia, através da cultura monospóricas, que consiste na repicagem de apenas um esporo do fungo para placa de petri. Foram coletadas as massas de conídios, e posteriormente estas foram diluídas em água destilada esterilizada e vertidas em placas de petri com meio AA (Ágar-Água) e incubadas por 48 horas.

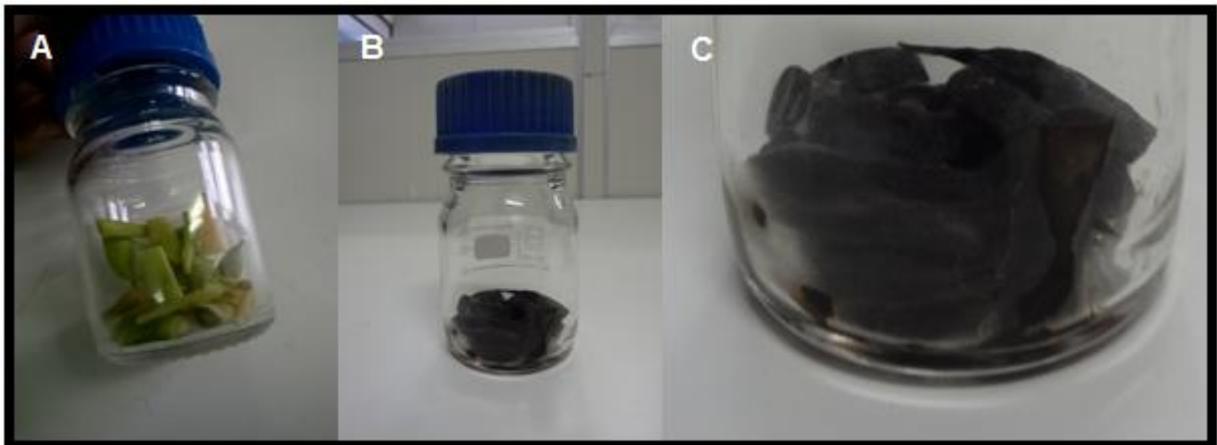
Quando os esporos começaram a germinar, com auxílio de uma alça de platina, foi transferido apenas um esporo germinado (Figura 1C) para cada placa de petri, com meio Mathur (peptona (2,0 gl^{-1}), dextrose (2,8 gl^{-1}), MgSO_4 (1,73 gl^{-1}), KH_2PO_4 (2,72 gl^{-1}) e ágar (20 gl^{-1})) (REY;BALARDIN; PIEROBOM, 2005). As placas foram incubadas em estufa BOD, com temperatura de 20°C e com fotoperíodo de 24 horas de escuro. As colônias puras foram utilizadas em outras etapas do trabalho.

3.2.5 Esporulação do fungo

Para promover a esporulação do fungo (Figura 2) foram utilizadas vagens de feijão livres de fungicidas e sem qualquer lesão. Estas vagens foram acondicionadas

em frascos de vidros de 100 ml e esterilizadas duas vezes em intervalo de 24 horas, em autoclave a 121°C por 30 minutos. Para a inoculação foram colocados três discos de micélio de 7 mm de diâmetro, provenientes das placas livres de contaminação (item 3.2.4), dentro de cada frasco de vidro. Os frascos de vidros foram incubados no escuro e em temperatura ambiente até a produção de conídios. Após este processo, os frascos de vidros livres de contaminação foram utilizados para obtenção da suspensão conidial, utilizada na inoculação das sementes.

Figura 2 - Processo de esporulação do *Colletotrichum lindemuthianum*. Vagens cortadas antes da esterilização (A). Vagens com presença de esporos (B) e (C)



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

3.2.6 Inoculação do *Colletotrichum lindemuthianum* nas sementes de feijão

As sementes de feijão da cultivar IPR Graúna foram inoculadas pelo método adaptado de Pedroso et al. (2010).

Essas sementes foram previamente desinfestadas em álcool 70% e hipoclorito (1%) por um minuto e foram imersas por 10 minutos em suspensão conidial de 10^4 conídios/mL, ajustada através leitura da câmara de Neubauer.

Após a imersão na suspensão conidial, as sementes foram distribuídas em camadas dentro de bandejas com dimensões de 30x22x7 cm, na seguinte ordem: três folhas de papel umedecido com meio de cultura (BDA + restritor) e a camada de sementes, até formar quatro camadas de sementes (Figura 3). O meio de cultura utilizado foi BDA + restritor manitol ($C_6H_{14}O_6$). A concentração de manitol foi

ajustada para proporcionar um potencial osmótico de $-1,0$ Mpa. O cálculo da concentração foi ajustada pelo software SPPM (MICHEL e RADCLIFFE, 1995).

Figura 3 - Bandejas com as camadas de papel umedecido + sementes, para a inoculação de *Colletotrichum lindemuthianum*



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

As bandejas foram incubadas em estufa BOD com temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 horas de luz/escuro, até a primeira semente emitir o início de protrusão radicular (Figura 4). As sementes foram removidas das bandejas e colocadas para secar em temperatura ambiente por 48 horas. Somente após este processo foi realizado o tratamento de sementes com diferentes fontes de silício.

Figura 4 - Protrusão radicular em sementes de feijão condicionadas em bandejas com BDA + restritor (manitol)



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

3.2.7 Tratamento de sementes e determinações da qualidade fisiológica e sanitária

As sementes de feijão foram recobertas por quatro fontes de silício, tais como: silício oriundo da cinza da casca de arroz carbonizada, considerando um teor de sílica de 74% a 97% (TASHIMA et al., 2012); oriundo de rocha na formulação comercial Potency[®] contendo 68% de silício; na formulação comercial Supa Sílica, Agrichem[®] com concentração de 7,3% de silício e 17,3 % de potássio; e na formulação comercial de Silicon SiO₂, Rigrantec[®] com concentração de 10% de SiO₂ e 10% de K₂O.

A dose de silício, nas diferentes fontes, foram adaptadas da metodologia proposta por Oliveira et al. (2015b) e baseadas na recomendação da embalagem dos produtos comerciais.

O tratamento das sementes com diferentes fontes de silício foi realizado manualmente, utilizando sacos de polietileno. As fontes de silício foram misturadas e agitadas com as sementes, por três minutos até a homogeneização. Estas sementes foram peliculizadas, com o produto CM Flo Rite 1197 Green, BASF[®], a fim de proteger e evitar perda de produto, utilizando os mesmos procedimentos anteriores. Após, as sementes foram secas em temperatura ambiente por 24 horas.

Os tratamentos das sementes utilizados no Experimento 1, com diferentes fontes de silício e respectivas doses estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição do tratamento das sementes de feijão da cultivar IPR Graúna com diferentes fontes de silício e doses

Tratamentos/Fontes de Silício	Doses
T0 (Testemunha absoluta)	-
T1 (Testemunha inoculada)	-
T2/Cinza da casca de arroz carbonizada	90 g . 100 kg ⁻¹
T3/Silício oriundo de rocha (Pontency [®])	90 g . 100 kg ⁻¹
T4/Silício oriundo do produto Silicon SiO ₂ , Rigrantec [®]	200 ml . 100 kg ⁻¹
T5/Silício oriundo do produto Supa Sílica, Agrichem [®]	200 ml . 100 kg ⁻¹

Após os tratamentos, as sementes foram submetidas às seguintes avaliações:

a) Germinação: o teste de germinação foi conduzido conforme as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009b). Foram semeadas 200 sementes, divididas em oito repetições, em rolo de papel *germitest*, umedecido com água destilada na quantidade de três vezes o peso seco do papel. Estes rolos foram colocados no germinador a uma temperatura de 20-30°C. A primeira contagem foi realizada aos cinco e a última aos nove dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem (%) de plântulas normais.

b) Na primeira contagem do teste de germinação foram consideradas as plântulas normais emitidas aos cinco dias, e foi realizada a medição do comprimento de plântulas. As avaliações foram realizadas pelas medidas da parte aérea e radícula de 10 plântulas normais escolhidas aleatoriamente após a semeadura (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999).

Para avaliação da massa seca foram utilizadas dez plântulas normais, oriundas da avaliação do comprimento de plântulas de cada repetição. As plântulas foram colocadas na estufa a 65°C, até a estabilização na pesagem e os resultados foram expressos em gramas.

c) Incidência de *Colletotrichum lindemuthianum* nas sementes: foram utilizadas oito repetições de 50 sementes cada, em rolo de papel *germitest*. As sementes foram desinfestadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 1% por 3 minutos para todos os tratamentos (BRASIL, 2009a).

Os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos e colocados em câmaras de incubação, no escuro, a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ pelo período de sete dias. Após este período, foi realizada a avaliação pela presença de sintomas de antracnose nos cotilédones, e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

d) Emergência: A semeadura foi em bandejas contendo areia esterilizada, com 200 sementes por tratamento e oito repetições, conduzida na casa de vegetação, em condições controladas de ambiente. Foi realizada a avaliação de plântulas normais, anormais danificadas e anormais com sintoma de antracnose, sementes mortas, massa seca e massa verde e o comprimento de plântulas, aos 10 dias após a semeadura.

3.2.8 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições. Foi realizada análise de variância e foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de Bartlett. A comparação de médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados em porcentagem foram transformados pela equação arco seno $\sqrt{x/100}$. O programa estatístico foi o SISVAR, versão 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011).

3.2.9 Análise da presença de silicatos nos tecidos de plântulas de feijoeiro oriundas de sementes tratadas com diferentes fontes de silício

As plântulas normais, livre de doenças, oriundas do teste de emergência em casa de vegetação (item 3.2.6) foram utilizadas para determinar a presença de silício em seus tecidos (folhas primárias e os cotilédones).

Foram utilizadas cinco plântulas oriundas das sementes da cultivar IPR Graúna por tratamento e a análise dos cotilédones e das folhas primárias foi realizada aos dez dias após a semeadura. Foi realizada a identificação de silicatos na parte aérea da gramínea *Paspalum intermedium* (Figura 5) como sendo um controle positivo.

Figura 5 - Imagem da gramínea *Paspalum intermedium* utilizada para determinação da presença de silício



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

O procedimento de análise no microscópio de luz foi realizado conforme descrito por Johansen (1940). Foram realizados cortes à mão livre do material vegetal (Figura 6). Os cortes foram colocados sobre lâminas com os cristais de fenol, Dinâmica[®], que posteriormente foram aquecidas entre 45-50°C até dissolver os cristais (Figura 6). Para clarificar os cortes, foi utilizado óleo de cravo por 5 min., e os cortes foram montados em bálsamo do Canadá sintético, VETEC[®]. A avaliação da presença de silicatos foi confirmada através da coloração avermelhada vista em microscópio.

Figura 6 - Identificação de silicatos nos tecidos de plântulas oriundas de tratamento de sementes tratadas com diferentes fontes de silício. Cortes das folhas primárias e cotilédones das plântulas de feijão, oriunda do tratamento de sementes com Silicônio SiO_2 (A). Cortes histológicos em contato com cristais de fenol (B)



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

3.3 EXPERIMENTO 2: AVALIAÇÃO DA REÇÃO À *Colletotrichum lindemuthianum* EM PLANTAS DE FEIJÃO, ORIUNDAS DE SEMENTES TRATADAS COM SILÍCIO

Para está avaliação foram utilizadas duas cultivares: a cultivar IPR Graúna descrita no item 3.2.2 e a cultivar IPR Uirapuru.

Com base nos resultados do experimento 1, foi selecionada a fonte de silício que apresentou os melhores resultados para o tratamento de sementes (Tabela 2) e foi realizado um experimento a campo com duas cultivares de feijão. A fonte de silício selecionada para este experimento foi o produto Supa Sílica, Agrichem[®], com dose de 200 ml.100 kg⁻¹.

Foi realizada adubação, conforme a análise do solo (Anexo B). Aos 25 dias antes da semeadura realizou uma adubação a lanço de super triplo de 182 kg.ha⁻¹, na semeadura foi realizada adubação de 225 kg.ha⁻¹, com formulação de 5-20-20. A semeadura foi realizada no dia 9 de outubro de 2016, conforme o zoneamento agrícola para o Rio Grande do Sul.

Tabela 2 - Combinação de tratamentos das duas cultivares de feijão (IPR Graúna e IPR Uirapuru) com uma fonte de silício (Supa Sílica, Agrichem[®]) para a semeadura em campo

Tratamento/Cultivar	Dose
T0 (Testemunha/IPR Graúna)	-
T1 (Testemunha/IPR Uirapuru)	-
T2 IPR Graúna + silício	200 ml.100 kg ⁻¹
T3 IPR Uirapuru +silício	200 ml.100 kg ⁻¹

Para este experimento não foi realizada a infestação artificial das sementes com *Colletotrichum lindemuthianum*. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais de cada bloco, excluindo as linhas das extremidades. Foram avaliados a emergência de plântulas e os sintomas de antracnose nos cotilédones, aos 15 dias da semeadura (VECHIATO et al., 2001).

3.3.1 Análise Estatística

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema unifatorial, com seis repetições. Os blocos foram de quatro linhas, com 5 metros e 0,50 m entre linhas. Os dados foram submetidos à análise de variância e foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de Bartlett. A comparação de médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados em porcentagem foram transformados pela equação arco seno $\sqrt{x}/100$. O programa estatístico foi o SISVAR, versão 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÕES INICIAIS DA QUALIDADE DAS SEMENTES

As determinações iniciais de qualidade foram realizadas para duas cultivares: a IPR Graúna e IPR Uirapuru.

A cultivar IPR Graúna (Tabela 3) no teste de germinação apresentou 89% de plântulas normais, 3% de plântulas anormais danificadas e apresentou 4% de sementes mortas. Na avaliação de incidência para *C. lindemuthianum* apresentou um percentual de 9,75% de incidência.

Tabela 3 - Testes de germinação e de incidência de *C. lindemuthianum* nas determinações iniciais da qualidade das sementes de feijoeiro para cultivares IPR Graúna e IPR Uirapuru

Cultivares	Testes	PN (%)	AD (%)	PI (%)	M (%)	Teor de água (%)
IPR Graúna	Germinação	89	3	0	4	14,0
	Incidência	82	4	9,75	4	
IPR Uirapuru	Germinação	19	10	4,25	25	13,8
	Incidência	10	0	7,5	32	

PN: Plântulas normais; AD: Anormal danificada; PI: plântulas infectadas com *C. lindemuthianum*; M: sementes mortas

A cultivar IPR Uirapuru (Tabela 3) apresentou baixo percentual de plântulas normais, nos dois testes, teste de germinação e o teste de incidência de *C. lindemuthianum*, com percentual de 19% e 10%, respectivamente. Ao contrário, a cultivar apresentou alto percentual de sementes mortas para os dois testes, com percentual de 25 % e 32%, porém a infecção de *C. lindemuthianum* nas plântulas foi de 4,25% e 7,5% e de incidência, respectivamente.

O teor de água para as duas cultivares de feijão ficou próximo, para cultivar IPR Graúna foi de 14,0% e para cultivar IPR Uirapuru foi de 13,8%.

A cultivar IPR Graúna apresentou melhor qualidade fisiológica do que a cultivar IPR Uirapuru, com germinação acima da estabelecida para a cultura do feijão, que é de 80% (BRASIL, 2013). Já a cultivar IPR Uirapuru apresentou germinação abaixo da estabelecida para a cultura do feijão. É importante ressaltar,

que o alto percentual de sementes mortas nesta cultivar não é devido à presenças de *Colletotrichum lindemuthianum* nas sementes, pois a incidência do patógeno foi de 5,87% em média.

A antracnose pode diminuir o rendimento da cultura, afeta a qualidade comercial do produto por ocasionar manchas na semente e ocasionar perdas de 100% da lavoura, em condições ambientais favoráveis (VIEIRA e RAVA, 2000). Segundo Santos et al. (1996) a transmissão do *C. lindemuthianum* para sementes pode chegar a 100%. Já Rey et al. (2009) testando 3 raças de *C. lindemuthianum* (65, 73 e 81) determinaram que a transmissão semente-plântula pode variar de 70-80%, sendo que o patógeno pode interferir negativamente no sistema radicular do feijoeiro, e o seu controle é dificultado pela alta variabilidade e o seu alto poder epidêmico, mesmo com baixo índice de sementes infectadas pelo patógeno, essas sementes servem como fonte de inóculo primário, em condições ambientais favoráveis.

4.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DAS SEMENTES DE FEIJÃO TRATADAS COM DIFERENTES FONTES DE SILÍCIO

Na avaliação do teste de germinação, das sementes da cultivar IPR Graúna tratadas com as fontes de silício, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e as variáveis observadas. Na Tabela 4, encontram-se os resultados para plântulas normais (PN), plântulas anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas por *C. lindemuthianum* (PI) e sementes mortas (M).

Tabela 4 - Médias (%) de plântulas normais (PN), anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (PI) e sementes mortas (M) para o teste de germinação de sementes de feijoeiro submetidas a diferentes tratamentos

Tratamento	PN (%)	AD (%)	PI (%)	M (%)
T0	88 a*	5 a	4 b	1 c
T1	66 b	1 b	22 a	9 a
T2	69 b	0 b	21 a	8 ab
T3	69 b	0 b	22,5 a	7 ab
T4	69 b	0 b	23,5 a	5 abc
T5	70 b	0 b	26,5 a	3 bc
C.V. (%)	6,45	59,59	24,88	40,35

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. T0: Testemunha absoluta; T1: Testemunha inoculada; T2: Cinza de casca de arroz carbonizada; T3: Silício oriundo de rocha (Pontency[®]); T4: Silicon SiO₂ (Rigrantec[®]); T5: Sílica (Supa Sílica, Agrichem[®]).

Na média de plântulas normais (Tabela 4) verifica-se diferença significativa entre a testemunha absoluta (T0), com 88% de plântulas normais e os demais tratamentos com a presença do patógeno e tratamento com silício (T1, T2, T3, T4 e T5), variando de 70% a 66%. Nos tratamentos T2 a T5, sementes tratadas com diferentes fontes de silício, em comparação a T1 (testemunha inoculada sem silício), não ocorreu diferença significativa entre eles.

Na literatura, Oliveira et al. (2016) utilizando três fontes de silício (cinza casca de arroz carbonizada, escória de forno de panela e caulim) em sementes de arroz, demonstram que na primeira contagem de germinação, não foi observada interação entre os fatores fontes e dose, sendo observado apenas efeito principal de dose, sendo que o aumento da dose, conseqüentemente aumenta o número de plântulas normais.

Utilizando cinza de casca de arroz carbonizada como fonte de silício com diferentes doses (0, 30, 60, 90, e 120 g 100 kg de sementes⁻¹) no tratamento de sementes em duas cultivares de soja (BMX Turbo RR e NA 5909 RR), Oliveira et al. (2015b), não encontraram resultados significativos para a primeira contagem do teste de germinação.

Tunes et al. (2014) testando duas fontes de silício, caulim e cinza de casca de arroz carbonizada, para as duas cultivares de arroz com diferentes doses, não

detectaram resultados significativos para os testes de primeira contagem e germinação. Toledo et al. (2011) também não encontraram diferenças significativas na germinação em sementes de aveia recobertas com silício.

Os resultados observados na variável plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (Tabela 4), apresentaram diferença significativa, com uma maior média de infecção para os tratamentos T1 a T5, com variação de 21% a 26,5% em comparação a testemunha absoluta (T0) que foi de 4%. Os resultados estão relacionados porque as sementes da testemunha absoluta, não passaram por nenhum processo de tratamento e apresentam os resultados próximos às determinações iniciais das sementes (Tabela 3). A testemunha inoculada e os tratamentos com diferentes fontes de silício, não diferem entre si, com tendência semelhante à variável plântulas normais.

Na análise entre a testemunha absoluta (T0) e a testemunha inoculada (T1), ocorreu diminuição de plântulas normais e aumento de plântulas infectadas e de sementes mortas, com a inoculação do patógeno.

Portanto, o processo de inoculação do patógeno em sementes confirma a ação do *C. lindemuthianum* nas sementes, diminuindo a qualidade sanitária e fisiológica das sementes. Este resultado é semelhante ao descrito por Silva; Pozza; Machado (2013); Rey et al. (2008); e Costa (2002).

Também é possível observar que em outros patossistemas, a inoculação com patógenos prejudica a qualidade das sementes, tais como: inoculação de *Colletotrichum truncatum*, *Phomopsis sojae* e *Sclerotinia sclerotiorum* em sementes de soja (MACHADO et al., 2001); inoculação de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* em sementes de feijão (COSTA et al., 2003); sementes de algodão inoculadas com *Gossyium hirsutum* (MACHADO et al., 2004); e inoculação de *Alternaria alternata* e *A. dauci* em sementes de salsa (PEDROSO et al., 2010).

O processo de colonização e infecção do fungo em sementes vai depender do tipo de semente e do microorganismo. O fungo causador da antracnose em feijoeiro, infecta a semente através do pericarpo, colonizando até o tegumento, e se a infecção ocorrer precocemente ou as condições ambientais lhe forem favoráveis, o fungo pode ser encontrado em tecidos mais profundos e pode colonizar o embrião em leguminosas, caso essas sementes forem muito colonizadas elas morrem antes da emergência (DHINGRA, 2005).

Na Tabela 5, encontram-se os resultados da avaliação do comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA), massa verde (MV) e massa seca (MS), a partir de sementes da cultivar IPR Graúna submetidas aos tratamentos com diferentes fontes de silício. De acordo com os resultados, ocorreu diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis, comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA) e massa verde (MV) e para a variável massa seca não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 5 - Médias de comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA), massa verde (MV) e massa seca (MS) a partir de sementes de feijão submetidas a diferentes tratamentos com silício

Tratamento	CR (cm)	CA (cm)	MV (g)	MS (g)
T0	13,10 ab*	8,49 b	9,64 b	1,70 ^{ns}
T1	11,78 b	9,18 ab	10,54 ab	1,70
T2	13,48 ab	10,23 a	10,49 ab	1,73
T3	12,31 ab	9,48 ab	11,30 a	1,71
T4	12,82 ab	10,77 a	11,39 a	1,69
T5	13,78 a	10,10 a	11,57 a	1,77
C.V. (%)	10,13	11,02	7,72	5,41

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns} Médias não são significativas. T0: Testemunha absoluta; T1: Testemunha inoculada; T2: Cinza de casca de arroz carbonizada; T3: Silício oriundo de rocha (Pontency[®]); T4: Silicon SiO₂ (Rigrantec[®]); T5: Sílica (Supa Sílica, Agrichem[®]).

No comprimento radicular de plântulas normais (Tabela 5), a testemunha inoculada (T1) apresentou menor valor (11,78 cm) e o tratamento com Supa Sílica, Agrichem[®], (T5) com maior média (13,78 cm), indicando que para esta variável, a ação do silício foi positiva, reduzindo os efeitos do patógeno. Também, no comprimento parte aérea, os tratamentos com diferentes fontes de silício (T2, T4 e T5) apresentaram efeito positivo em relação às testemunhas, sendo que o tratamento com Silicon SiO₂, Rigrantec[®], obteve a maior média com 10,77 cm. Para variável massa verde, os tratamentos (T3, T4 e T5), apresentaram maiores médias em relação às testemunhas, destacando o tratamento T5, fonte de silício oriundo do produto Supa Sílica, Agrichem[®], com 11,57 g. Para todas essas variáveis

observadas, o tratamento de sementes, dependendo da fonte de silício utilizada, apresentou aumento em relação à testemunha inoculada e à testemunha absoluta.

O comprimento de plântulas expressa o vigor de um lote de sementes, pois sementes vigorosas proporcionam altas taxas de crescimento, com maior suprimento de reservas de nutrientes nos tecidos de armazenamento e a incorporação no eixo embrionário (BAYS et al., 2007).

Os resultados encontrados neste estudo, para comprimento de parte aérea e de raiz esta de acordo com o de Oliveira et al. (2016) que utilizando diferentes fonte de silício e doses no tratamento de sementes de arroz, relatou diferença significativa entre as fontes. No trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2015b), estudando diferentes dose de cinza de casca de arroz em duas cultivares de soja, a resposta para o comprimento de parte área foi diferente entre as cultivares, onde a BMX Turbo RR não apresentou resposta significativa, mas a cultivar NA 5909 RR, apresentou um crescimento linear conforme a dose.

Segundo SHI et al. (2014), a aplicação de silício pode melhorar a capacidade de germinação de sementes e aliviar o estresse oxidativo de mudas de tomate sob estresse com déficit hídrico, aumentando a defesa antioxidante e os efeitos positivos do silício, os autores também sugerem o envolvimento do silício em processos bioquímicos em plantas.

No teste de incidência, para avaliação de presença do fungo *C. lindemuthianum* em sementes de feijão (Tabela 6), verificou-se diferenças significativas entre os tratamentos com e sem presença de silício e entre os tratamentos com e sem inoculação do patógeno, para a variável plântulas normais. Na avaliação das plântulas infectadas por *C. lindemuthianum* (PI) o tratamento com fonte de silício Supa Sílica, Agrichem[®], reduziu a incidência do patógeno

Tabela 6 - Médias (%) de plântulas normais (PN), anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (PI) e sementes mortas (M) da avaliação da incidência de *C. lindemuthianum* nas sementes de feijoeiro tratadas com diferentes fontes de silício

Tratamento	PN (%)	AD (%)	PI (%)	M (%)
T0	82 a*	5 ^{ns}	8,5 c	2 ^{ns}
T1	45 c	5	44,5 a	4
T2	61 b	1	34 ab	3
T3	62 b	0	33 ab	4
T4	59 b	1	34,5 ab	5
T5	68 b	1	27 b	3
C.V. (%)	5,23	62,66	14,67	51,50

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns} Médias não são significativas. T0: Testemunha absoluta; T1: Testemunha inoculada; T2: Cinza de casca de arroz carbonizada; T3: Silício oriundo de rocha (Potency[®]); T4: Silicon SiO₂ (Rigrantec[®]); T5: Sílica (Supa Sílica, Agrichem[®]).

Os tratamentos com cinza de casca de arroz (T2), com a fonte Potency[®] (T3), Silicon SiO₂, Rigrantec[®] (T4) e Supa Sílica, Agrichem[®] (T5), apresentaram uma maior média de plântulas normais comparada com a testemunha inoculada (T1), com 61%, 62%, 59%, 68% e 45%, respectivamente (Tabela 6).

A incidência de *C. lindemuthianum* nas sementes mostrou um comportamento inverso para avaliação de plântulas normais (Tabela 6). A testemunha inoculada apresentou maior média (44,5%) de sementes infestadas e os tratamentos T2, T3, T4, e T5 (fontes de silício) as menores médias, com 34%, 33%, 34,5% e 27%, respectivamente.

O silício no tratamento de sementes proporcionou maior porcentagem de plântulas normais e um menor índice de plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* em comparação com as sementes inoculadas.

Cruz et al. (2014) constatou que a barreira física proporcionada pela deposição nas nervuras das folhas suprimidas com silício, pode ter afetado a penetração e colonização de *C. lindemuthianum*, e a resistência da plantas suprimidas com silício ao fungo parece estar associadas com maiores concentrações foliares de enxofre e potássio. Já Moares et al. (2006), trabalhando com aplicação foliar de silicato de cálcio em feijoeiro, observou que o silício contribui para redução da

antracnose, mas não observou a formação de barreira física e acúmulo de silício no tecido foliar.

Outros estudos detectaram ação do silício no controle de diferentes patossistemas, tais como: *Pythium ultimum* em pepino (CHÉRIF et al., 1992); *Ralstonia solanacearum* em tomateiro (GHAREEB, et al., 2011; KIIRIKA; STAHL; WYDRA, 2013); *Rhizoctonia solani* em plantas de arroz (SCHURT et al., 2014); e *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* em algodoeiro (WHAN; DANN; AITKEN, 2016).

Baseados nos resultados da testemunha absoluta (T0), observa-se que a inoculação do patógeno, causador da antracnose em feijoeiro diminui a qualidade fisiológica e sanitária das sementes, diminuindo o percentual de plântulas normais e aumentando o de sementes infectadas e sementes mortas.

Na Tabela 7 observam-se os resultados encontrados em casa de vegetação, na emergência de sementes tratadas com silício.

Tabela 7 - Médias (%) de emergência, plântulas anormais danificadas (AD) e plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (PI) e sementes mortas (M) do teste de emergência em casa de vegetação

Tratamento	Emergência (%)	AD (%)	PI (%)	M (%)
T0	80 a	4 b	6,00 b	9 ^{ns}
T1	58 ab	9 ab	21,00 a	11
T2	55 b	14 a	14,00 ab	16
T3	58 ab	12 ab	11,50 ab	17
T4	59 ab	10 ab	13,50 ab	17
T5	64 ab	13 a	8,50 b	14
C.V. (%)	7,98	22,70	18,75	28,37

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns} Médias não são significativas. T0: Testemunha absoluta; T1: Testemunha inoculada; T2: Cinza de casca de arroz carbonizada; T3: Silício oriundo de rocha (Pontency[®]); T4: Silicon SiO₂ (Rigrantec[®]); T5: Sílica (Supa Sílica, Agrichem[®]).

Os resultados do experimento em casa de vegetação com sementes tratadas com diferentes fontes de silício (Tabela 7) apresentaram diferença significativa para emergência, plântulas anormais danificadas e plântulas infectadas com *C.*

lindemuthianum e para avaliação de sementes mortas não apresentaram diferença significativa.

Os tratamentos T1 a T5, sementes inoculadas com *C. lindemuthianum* e tratadas com silício são diferentes da testemunha absoluta, que apresentou média de 80%. Mas os tratamentos com diferentes fontes de silício não apresentaram diferença estatística entre si, para variável emergência (Tabela 7), com exceção do tratamento com cinza de casca de arroz que teve menor média em relação à testemunha inoculada, com 55%, 58%, respectivamente.

Na avaliação de plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (Tabela 7), o tratamento com Supa Sílica, Agrichem[®], apresenta menor média de plântulas infectadas em relação à testemunha inoculada (T1), com 8,50% e 21,00%, respectivamente. Na análise das duas testemunhas, a testemunha absoluta (T0) e a testemunha inoculada (T1), a inoculação das sementes com o patógeno aumento a média de plântulas infectadas por *C. lindemuthianum*.

Na avaliação de emergência em casa de vegetação (Tabela 7) os resultados encontrados ficaram próximos ao do teste de germinação (Tabela 4), assim confirmando o efeito do silício no tratamento de sementes e a inoculação de *C. lindemuthianum* em sementes de feijão comparadas com a testemunha absoluta.

Os resultados das variáveis comprimento radicular, comprimento de parte aérea, massa verde e massa seca, encontram-se na Tabela 8. Para comprimento radicular e massa seca, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas.

O comprimento de parte aérea e massa verde (Tabela 8) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Para as duas variáveis, a testemunha absoluta apresentou maior valor em relação as outros tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5).

Tabela 8 - Médias do comprimento radicular (CR), comprimento parte aérea (CA), massa verde (MV) e massa seca (MS) de plântulas em casa de vegetação oriundas de sementes de feijão submetidas a diferentes tratamentos com silício

Tratamento	CR (cm)	CA (cm)	MV (g)	MS (g)
T0	13,17 ^{ns}	21,13 a	30,94 a	2,00 ^{ns}
T1	12,28	19,56 ab	27,33 b	1,88
T2	12,74	17,60 b	24,54 b	1,92
T3	12,73	19,04 ab	27,83 ab	1,95
T4	12,41	18,98 ab	27,67 ab	1,91
T5	13,17	17,96 ab	25,32 b	1,80
C.V. (%)	11,32	3,93	2,75	9,36

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns} Médias não são significativas. T0: Testemunha absoluta; T1: Testemunha inoculada; T2: Cinza de casca de arroz carbonizada; T3: Silício oriundo de rocha (Pontency[®]); T4: Silicon SiO₂ (Rigrantec[®]); T5: Sílica (Supa Sílica, Agrichem[®]).

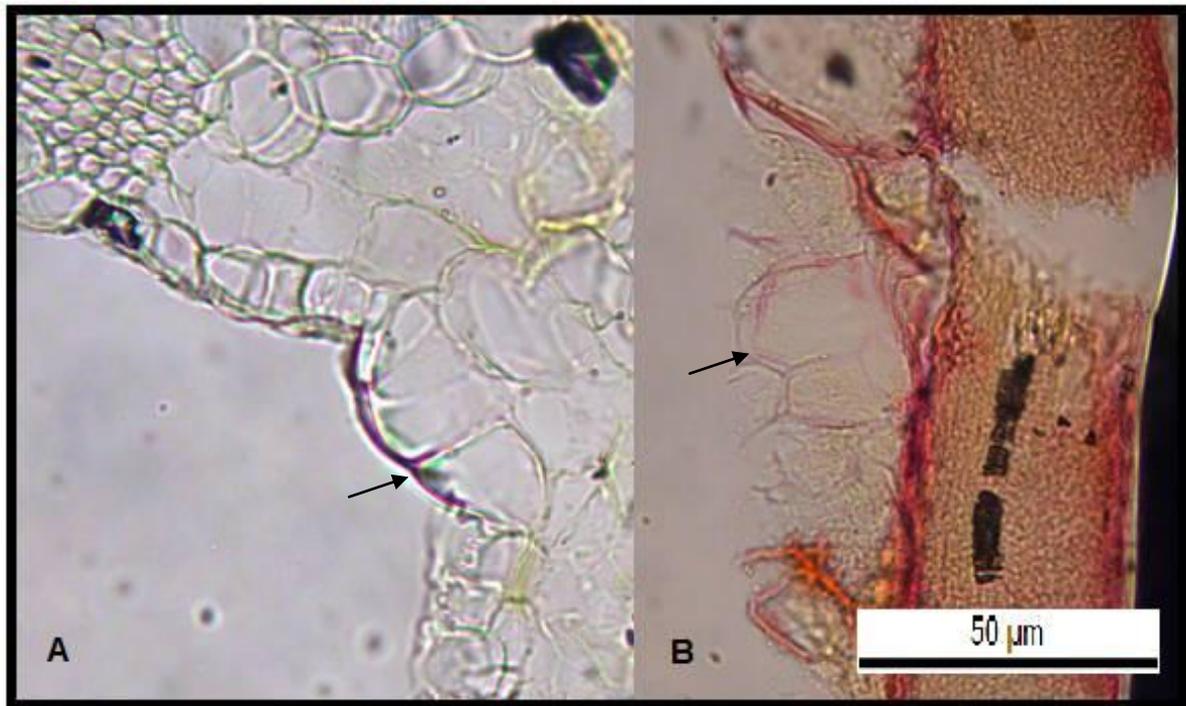
Rufino (2010) avaliando o recobrimento de sementes com cálcio, magnésio e silício para duas cultivares de soja, não detectou diferença significativa para a variável matéria seca entre as cultivares (BMX Potência RR e CD 226 RR) para nenhum dos tratamentos aos 10 dias após a emergência, sendo que o silício aplicado isoladamente e a testemunha apresentou maiores médias do que os tratamentos (Ca e Mg + Si; Ca e Mg), para cultivar BMX Potência RR.

A inoculação de diferentes raças de *C. lindemuthianum* em sementes ocasionou diminuição no comprimento de raiz de plântulas em relação à testemunha sem inoculação, mas para parte aérea e peso seco não apresentou diferenças significativas entre as raças do patógeno e a testemunha (REY et al., 2009).

4.2.1 Identificação de silício nos tecidos vegetais de plântulas de feijão

Na Figura 7, encontra-se a identificação de silicatos nas células de *Paspalum intermedium*, sendo nomeado como controle positivo, pois a maioria das gramíneas possui deposição de silício em suas células.

Figura 7 - Cortes histológicos para identificação da presença de silício nos tecidos das plantas. Identificação de silicatos na folha da gramínea *Paspalum intermedium* (A). Silicatos identificado em folhas primárias de plântulas de feijão, submetidas ao tratamento com a fonte Silicon SiO₂, Rigrantec® (B)



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

Nos cortes histológicos para os cotilédones do feijoeiro, não foi possível identificar presença de silicatos, mas em algumas lâminas apresentou falso positivo, não confirmando a presença de silício nos tecidos da planta.

Nas lâminas elaboradas para os cortes histológicos das folhas primárias das plântulas, apenas o tratamento oriundo do produto Silicon SiO₂, Rigrantec®, apresentou silício nas células, conforme a Figura 7, indicando a presença de silício nas estruturas da planta. Já os demais tratamentos também apresentaram falso positivo, não confirmando a presença do silício.

GHANMI et al. (2004) realizou um estudo para explorar o papel no silício no controle de oídio (*Erysiphe cichoracearum*) em *Arabidopsis thaliana*, com auxílio da microscopia eletrônica. Os autores concluíram que o silício diminui a incidência do oídio, e que o tratamento com silício parece induzir a produção de substância fungitóxica densa de elétrons, provavelmente enriquecido com compostos fenólicos, que se acumula dentro e ao redor do haustório da célula epidérmica infectada. Conseqüentemente, estes resultados da ação do silício são complexos e

não são inteiramente explicados apenas pelo papel de resistência mecânica, mas também como mediador de reações de defesa nas plantas.

Veiga (2008) detectou através da microscopia de luz, que sementes de plantas adubadas com silício têm maior espessura do tegumento e apresentam menor incidência de *C. lindemuthianum*.

No estudo do efeito do tratamento com silicato de potássio e inoculação de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* na defesa celular de raízes de duas cultivares de algodão, realizado por Whan; Dann; Aitken (2016), foi observado que o tratamento com silício afetou as respostas de defesa celulares de raízes inoculadas com o patógeno, particularmente em uma cultivar de resistência intrínseca a este patógeno, sugerindo que o silício pode interagir ou iniciar mais caminhos de defesa comparando com a cultivar de algodão menos resistente. Também as respostas de defesa foram mais intensas em regiões endodérmicas e vasculares do que nas regiões epidérmicas e corticais de raízes.

4.3 AVALIAÇÃO DE EMERGÊNCIA A CAMPO

Os resultados da avaliação de emergência e identificação de antracnose nos cotilédones realizada no campo encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Médias (%) de emergência e de plântulas infectadas com *Colletotrichum lindemuthianum* (PI) da avaliação das sementes de feijoeiro tratadas com silício em campo

Tratamento	Emergência (%)	PI (%)
T0: (Testemunha / IPR Graúna)	76 a	5,21 b
T1: (Testemunha / IPR Uirapuru)	34 b	11,11 a
T2: (IPR Graúna + silício)	72 a	7,47 ab
T3: (IPR Uirapuru + silício)	26 b	8,35 ab
C.V. (%)	6,50	12,73

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

A emergência no campo (Tabela 9) apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A diferença em relação à emergência entre as cultivares, está relacionada à baixa germinação apresentada pela cultivar IPR Uirapuru (Tabela 3), sendo que o tratamento das sementes com silício não alterou essa condição.

Na avaliação de plântulas infectadas com *C. lindemuthianum* (Tabela 9 e Figura 8), apresentou diferenças entre os tratamentos. Quando as sementes foram tratadas com silício, a diferença não ocorreu, porém na ausência de tratamento, a cultivar IPR Uirapuru apresentou a maior incidência de *C. lindemuthianum*, do que a cultivar IPR Graúna.

Figura 8 - Lesões nos cotilédones de plântulas de feijão infectadas pelo *Colletotrichum lindemuthianum*, causador da antracnose em feijoeiro



Fonte: Felipe Vedovatto, 2017

Os resultados encontrados neste experimento estão diretamente relacionados aos resultados das determinações iniciais da qualidade das sementes (Tabela 9), onde a cultivar IPR Graúna apresentou boa qualidade fisiológica, com elevada germinação. Já a cultivar IPR Uirapuru apresentou baixa germinação e alta porcentagem de sementes mortas, o que refletiu nas análises posteriores.

Como as sementes da cultivar IPR Uirapuru, apresentaram baixa qualidade fisiológica nas determinações iniciais, isto pode justificar o baixo número de plântulas normais e o alto índice de sementes infectadas com *C. lindemuthianum*.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que:

- A fonte de silício, oriunda do produto Supa Sílica, Agrichem[®], apresentou os melhores resultados na avaliação de qualidade das sementes de feijão.

- Foi possível identificar silicatos nas folhas primárias das plântulas de feijão, oriundas da fonte de silício, Silicon SiO₂, Rigrantec[®].

- A aplicação de silício reduz o efeito negativo da inoculação com *Colletotrichum lindemuthianum* nas sementes de feijão.

REFERÊNCIAS

- ABRASEM. Associação brasileira de sementes e mudas. Anuário 2015. Brasília, p. 1-110, 2015. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/09/Anuario_ABRASEM_2015_2.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2017.
- ABREU, A. de F. B. Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais: Introdução e Importância Econômica. **Embrapa Arroz e Feijão**. 2005a. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/index.htm>>. Acesso: 25 abr. 2015.
- ABREU, A. de F. B. Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais: Doenças e Métodos de Controle. **Embrapa Arroz e Feijão**. 2005b. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/doencas.htm>>. Acesso: 25 abr. 2015.
- AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**, 5 ed. Academic Press: Amsterdam, 2005. 922 p.
- AIDAR, H. Cultivo do Feijoeiro Comum: Características da Cultura. **Embrapa Arroz e Feijão**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso: 20 abr. 2015.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2016., 516p.
- BALARDIN, R. S.; Identificação de raças fisiológicas de *Colletotrichum lindemuthianum* no Rio Grande do Sul - Brasil. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília. v. 22, n. 1, p. 50-53, mar. 1997.
- BALARDIN, R. S.; JAROSZ, A. M.; KELLY, J. D. Virulence and molecular diversity in *Colletotrichum lindemuthianum* from South, Central, and North America. **The American Phytopathological Society**. [S.l.]. v. 87, n. 12, p. 1184-1191, 1997.
- BARROS, F. C. et al. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**. Uberlândia. v. 26, n. 2, p. 231-239, mar./abr. 2010.
- BAYS, R. et al. Recobrimento de semente de soja com micronutrientes, fungicida e polímero. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina. v. 29, n. 2, p. 60-67, 2007.
- BEVILAQUA, G. A. P. et al. **Indicações Técnicas para Produção de Sementes de Feijão para a Agricultura Familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. p. 1-16. (Circular técnica, 141).
- BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.;

REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 333-349.

BRASIL . Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília, DF, 14 jan. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm>. Acesso em: 25 out. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009a. 200 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009b. 395 p.

CACIQUE, I. S. et al. Silicon and manganese on rice resistance to blast. **Bragantia**. Campinas. v. 71, n. 2, p. 239-244, 2012.

CAMARGO, L. E. A. Genética da interação patógeno-hospedeiro In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v 2. p. 119-132.

CARVALHO, N. M de; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.

CHÉRIF, M. et al. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. [S.l.]. v. 41, p. 371-385, 1992.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Safra 2015/2016. Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-182, set. 2016a

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Safra 2016/2017. Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-156, dez. 2016b.

COSTA, J. L. da S. **Aplicação de fungicidas via tratamento de sementes para o controle da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 14 p. (Documento, 36).

- COSTA, M. L. N. et al. Inoculação de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* em sementes de feijoeiro através de restrição hídrica. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. v. 27, n. 5, p. 1023-1030, set./out. 2003.
- CRUSCIOL, C. A. C de. et al. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza. v. 44, n. 2, p. 404-410, abr./jun. 2013.
- CRUZ, M. F. A. et al. Aspectos microscópio da interação feijoeiro-*Colletotrichum lindemuthianum* mediados pelo silício. **Bragantia**. Campinas. v. 73, n. 3, p. 284-291, 2014.
- CRUZ, M. F. et al. Potassium silicate and calcium silicate on the resistance of soybean to *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Bragantia**. Campinas. v. 72, n. 4, p. 373-377, 2013.
- DALLAGNOL, L. J. et al. Rice grain resistance to brown spot and yield are increased by silicon. **Tropical Plant Pathology**. Brasília. v. 39, n.1, p. 056-063, jan./fev. 2014.
- DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MIELLI, M. V. B. Silicon improves the emergence and sanity of rice seedlings obtained from seeds infected with *Bipolaris oryzae*. **Tropical Plant Pathology**. Brasília. v. 38, n. 6, p. 478-484, nov./dez. 2013.
- DHINGRA, O. D. Teoria da transmissão de patógenos fúngicos por sementes. In: ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, 2005. p. 75-104.
- DOMICIANO, G. P. et al. Infection process of *Bipolaris sorokiniana* no wheat leaves is affected by silicon. **Tropical Plant Pathology**. Brasília. v. 38, n. 3, p. 258-263, maio/jun. 2013.
- DUTRA, A. S. et al. Produtividade e qualidade fisiológicas de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza. v. 43, n. 4, p. 816-821, out./dez. 2012.
- ESPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V. 2001, p. 1-15.
- FAO. **Production/crops**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- FAUTEUX, F. et al. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**. Amsterdam. p. 1-6, 2005.
- FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V. 2001, p.159-169.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA). Lavras. v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, D. Â R.. **Desempenho de sementes de trigo recobertas com silicato de alumínio**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

GHANMI, D. et al. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: a pathosystem for exploring the role of silicon in plant–microbe interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. [S.l.]. v. 64, p. 189-199, 2004.

GHAREEB, H. et al. Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. [S.l.]. v. 75, p. 83-89, 2011.

GUNTZER, F; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**. Les Ulis. v. 32, p. 201-213, 2012.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. Cultivar de feijão IPR88 Uirapuru: Grupo preto de alta produtividade e ampla adaptaçãp. Londrina: [s.n]. [2000?]. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/ipr88.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. IPR Graúna: Cultivar de feijão preto. Londrina: [s.n]. [2002?]. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/folhetos/grauna/grauna.html>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

JOHANSEN, D. A. **Plant michotechnique**. 1. ed. New York e London, 1940.

KAPPES, C. et al. Qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de feijoeiro, em função de aplicações de paraquat em pré-colheita. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia. v. 42, n. 1, p. 9-18, jan./mar. 2012.

KIIRIKA, L. M.; STAHL, F. WYDRA, K. Phenotypic and molecular characterization of resistance induction by single and combined application of chitosan and silicon in tomato against *Ralstonia solanacearum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. [S.l.]. v. 81, p. 1-12, 2013.

KIM, S. G. et al. Silicon-Induced Cell Wall Fortification of Rice Leaves: A Possible Cellular Mechanism of Enhanced Host Resistance to Blast. **The American Phytopathological Society**. v. 92, n. 10, p. 1095-1103, 2002.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIERIA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. ABRATES, Associação Brasileira de tecnologia de Sementes. Comitê de Vigor de Sementes. Londrina, 1999. 218p.

LOBO JÚNIOR, M. L.; BRANDÃO, L. T. D.; MARTINS, B. E. de M. **Testes para Avaliação da Qualidade de Sementes de Feijão Comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. p. 1-4. (Circular técnica, 90).

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V. 2001, p. 17-39.

MA, J. F.; YAMAJI. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**. [S.l.]. v. 11, n. 8 p. 392-397, 2006.

MACHADO, J. da C. et al. Inoculação artificial de sementes de soja por fungos, utilizando solução de manitol. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina. v. 23, n.2, p. 95-101, 2001.

MACHADO, J. da C. et al. Uso da restrição hídrica na inoculação de fungos em sementes de algodoeiro (*Gossypium hirsutum*). **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina. v. 26, n.16, p. 62-67, 2004.

MASSOLA JÚNIOR, N. S.; KRUGNER, T L. Fungos fitopatogênicos. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v 2. p. 149-206.

MEDEIROS, C. A. B. **Carbonização da casca de arroz para utilização em substratos destinados à produção de mudas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. p. 1-4. (Documento, 08).

MENDES, L. da S.; SOUZA, C. H. E. de.; MACHADO, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrociências**. Patos de Minas. n. 2, p. 51-63, set. 2011.

MICHEL, B. E.; RADCLIFFE, D. A computer program relating solute potencial to solution composition for five solutes. **Agronomy Journal**. MADISON. v. 87, n.1, 1995.

MORAES, S. R. G. et al. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília. v. 31, n. 1, p. 69-75, jan./fev. 2006.

NAJIHAH, N. I. et al. Silicon treatment in oil palms confers resistance to basal stem rot disease caused by *Ganoderma boninense*. **Crop Protection**. [S.l.]. v. 67, p. 151-159, 2015.

OLIVEIRA, B. G.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; ROMANO, E. D. B. Caracterização de raças de *Colletotrichum lindemuthianum* no estado do Paraná. **Iniciação Científica Cesumar**. Maringá. v.16, n. 2, p. 205-211, jul./dez. 2014.

OLIVEIRA, S de. et al. Efeitos do tratamento de sementes de arroz com silício sobre a qualidade fisiológicas das sementes tratadas e produzidas. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**. João Pessoa. v. 9, n. 4, p. 55-62, set. 2015a.

OLIVEIRA, S de. et al. Tratamento de semente de soja com silício: efeitos na qualidade fisiológica e nas características agrônômicas. **Revista cultivando o saber**. Cascavel. v. 8, n. 2, p. 215-230, abr./jun. 2015b.

OLIVEIRA, S de. et al. Tratamento de sementes de arroz com silício e qualidade fisiológica das sementes. **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa. v.39, n. 2, p. 202-209, 2016.

PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v 2. p. 593-636.

PEDROSO, D. C. et al. Métodos de inoculação de *alternaria alternata* e *a. dauci* em sementes de salsa e sua influência na qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina. v. 32, n. 3, p. 079-085, 2010.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A. Produção de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003. p. 12-91.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A. Beneficiamento de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003. p. 321-364.

PIERO, R. M. di.; GARDA, M. V. Quitosana reduz a severidade da antracnose e aumenta a atividade de glucanase em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 43, n. 9, p. 1121-1128, set. 2008.

POLANCO, L. R. et al. Biochemical aspects of bean resistance to anthracnose mediated by silicon. **Annals of Applied Biology**. [S.I.]. v. 161, n. 2p. 140-150, 2012.

REY, M. dos S. et al. Inoculação de sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) com *Colletotrichum lindemuthianum* usando diferentes níveis de restrição hídrica. **Revista Brasileira Agrociência**. Pelotas. v. 14, n. 4, p. 112-116, out./dez. 2008.

REY, M. dos S. et al. Transmissão semente-plântula de *Colletotrichum lindemuthianum* em feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Arquivos do Instituto Biológico**. São Paulo. v. 76, n. 3, p. 465-470, jul./set., 2009.

REY, M. dos S.; BALARDIN, R. S.; PIEROBOM, C. R. Reação de cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) a patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum*. **Revista Brasileira Agrociência**. Pelotas. v. 11, n. 1, p. 113-116, jan./mar. 2005.

RIBEIRO, T. et al. Classification of *Colletotrichum lindemuthianum* races in differential cultivars of common bean. **Acta Scientiarum**: Maringá. v. 38, n. 2, p. 179-184, abr./jun. 2016.

RUFINO, C. de A. **Aplicação de cálcio/magnésio e silício nas sementes de soja**. 2010. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SANTOS, G. R. et al. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza. v. 45, n. 2, p. 403-408, abr./jun. 2014.

SANTOS, G. R. et al. Transporte, transmissibilidade e patogenicidade da micoflora associada às sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **Revista Ceres**. Viçosa. v. 43, n. 249, p. 621-627, 1996.

SCHURT, D. A. et al. Silicon potentiates the activities of defense enzymes in the leaf sheaths of rice plants infected by *Rhizoctonia solani*. **Tropical Plant Pathology**. Brasília. v. 39, n. 6, p. 457-463, nov./dez. 2014.

SHI, Y. et al. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. **Plant Physiology and Biochemistry**. [S.l.]. v. 78, p. 27-36, 2014.

SILVA, M. G.; POZZA, E.; A; MACHADO, J. C. Influence of contaminated crop remains and seed health quality on the intensity of bean anthracnose. **Journal of Agricultural Science**. Canadá. v. 5, n. 10, p. 56-66, set. 2013.

TASHIMA, M. M. et al. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v. 12, n. 2, p. 151-163, abr./jun. 2012.

TOLEDO, M. Z. et al. Seed germination and seedling development of white oat affected by silicon and phosphorus fertilization. **Scientia Agricola**. Piracicaba. v. 68, n. 1, p. 18-23, jan./fev. 2011.

TUNES, L. V. M. de. et al. Qualidade fisiológica, sanitária e enzimática de sementes de arroz irrigado recobertas com silício. **Revista Ceres**. Viçosa. v. 61, n. 5, p.675-685, set./out. 2014.

VECHIATO, M. H. et al. Antracnose do feijoeiro: tratamento de sementes e correlação entre incidência em plantas e infecção de sementes. **Arquivos do Instituto Biológico**. São Paulo. v. 68, n.1, p. 83-87, jan./jun. 2001.

VEIGA, A. D. **Influência do silício na intensidade da antracnose, na composição química e na qualidade das sementes de feijoeiro**. 2008. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.

VIEIRA, E, H, N.; RAVA, C. A. Sementes de feijão: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 270.

WALTERS, D. et al. Induced resistance for plant disease control: maximizing the efficacy of resistance elicitors. **The American Phytopathological Society**. [S.l.]. v. 95, n. 12, p. 1368-1373, 2005.

WHAN, J. A.; DANN, E. K.; AITKEN, E. A. B. Effects of silicon treatment and inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* on cellular defences in root tissues of two cotton cultivars. **Annals of Botany**. Oxford. p. 1-8, 2016.

ZUCARELI, C. et al. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 19, n. 8, p. 803-809, 2015.

ANEXO A - ANÁLISE DE SOLO (AMOSTRA 1) UTILIZADA NO EXPERIMENTO A CAMPO NO MUNICÍPIO DE CRUZALTENSE

	<p>MEC - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos</p> <p>Santa Maria/RS Cep:97105-900 Fone: (55) 3220-8153 http://www.ufsm.br/solos</p> <p>Laudo de Análise de Solo</p>	
---	---	---

Nome: Felipe Vedovatto
Município: Cruzaltense
Localidade:
CPF/CNPJ: 025.562.250-97

Solicitante: Felipe Vedovatto
Endereço:
Entrada: 11/05/16 **Emissão:** 23/05/16

Matrícula:

Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georref.
5683	C104	29	Amostra 1	1ha		0-10 cm	
5684	C104	30	Amostra 2	1ha		0-10 cm	

Diagnóstico para acidez do solo e calagem

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol _c /dm ³					Al	Bases	
5683	5,6	11,1	2,9	0,0	4,9	14,5	0,0	74,6	5,9
5684	6,1	12,4	4,0	0,0	2,8	16,9	0,0	85,8	6,4

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm ³	mg/dm ³	g.kg ⁻¹	cmol _c /dm ³	mg/dm ³	
5683	3,2	30,0	3,0	17,0	3,7	--X--	0,45	19,4	176,0
5684	3,3	28,0	3,0	18,5	5,3	--X--	0,491	19,7	192,0

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm ³						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
5683	12,181	18,58	0,1	--X--	--X--	--X--	3,8	31,20	0,12
5684	8,215	8,84	0,2	--X--	--X--	--X--	3,1	33,40	0,121

Vinculado à ROLAS-RS/SC



Assinatura digital

D7-B7-4F-7E-FD-68-B0-95-0F-63-8C-14-56-2D-4D-A

Para autenticar acesse <http://silas.ccr.ufsm.br>, em "Autenticar" informe a sequência acima.

Responsável técnico: Gustavo Brunetto (CREA/RS 204807)

Pagamento Realizado

* Determinado em analisador elementar-combustão seca