

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Podridão radicular de Rhizoctonia em soja:
Fatores edáficos que interferem na incidência e efeito da calagem

Maicon Balbinotti

Passo Fundo

2022

Maicon Balbinotti

Podridão radicular de Rhizoctonia em soja:
Fatores edáficos que interferem na incidência e efeito da calagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Agronomia.

Orientadora:
Prof^a. Eng^a Agr^a. Ph.D. Jaqueline Huzar-
Novakowiski

Passo Fundo

2022

CIP – Catalogação na Publicação

B172p Balbinotti, Maicon

Podridão radicular de Rhizoctonia em soja: [recurso eletrônico] : fatores edáficos que interferem na incidência e efeito da calagem / Maicon Balbinotti. – 2022.
6.5 MB. ; PDF.

Orientadora: Profa. Ph.D. Jaqueline Huzar-Novakowski.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Física do solo 2. Química do solo. 3. Soja – Doenças e pragas. 4. Calagem dos solos. 5. Rhizoctonia solani. I. Huzar-Novakowski, Jaqueline, orientadora. II. Título.

CDU: 632.12

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



PPGAgro
Programa de Pós-Graduação
em Agronomia

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“Podridão radicular de Rhizoctonia em soja: fatores edáficos que interferem na incidência e efeito da calagem”

Elaborada por

Maicon Luiz Balbinotti Ferreira

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas

Aprovado em: 02/05/2022
Pela Comissão Examinadora

Handwritten signature of Dra. Jaqueline Huzar Novakowski in blue ink.

Dra. Jaqueline Huzar Novakowski
Presidente da Comissão Examinadora
Orientadora

Handwritten signature of Dr. Carlos Alberto Forcelini in blue ink.

Dr. Carlos Alberto Forcelini
Examinador externo

Handwritten signature of Dr. Pedro Alexandre Varela Escosteguy in blue ink.

Dr. Pedro Alexandre Varela Escosteguy
Examinador interno
UPF

Handwritten signature of Dra. Nadia Canali Lângaro in blue ink.

Dra. Nadia Canali Lângaro
Coordenadora do PPGAgro

Handwritten signature of Dr. Eraldo Lourenso Zanella in blue ink.

Dr. Eraldo Lourenso Zanella
Diretor da Faculdade de Agronomia e
Medicina Veterinária – FAMV/UPF

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo ao lugar onde nasci, a essa terra um pedaço meu sempre quis deixar, de certa forma consegui...

• • •

*"Ontem... o vento assoviava, distante a ecoar por entre as coxilhas sinuosas, fortemente tortuosas, desenhadas no limite do horizonte, tão distantes que abrem o Planalto e se esmorecem no alto da Serra Gaúcha... Éh **Soledade** véia, lugarzito onde o Minuano faz morada nos resquícios do Pampa, no canto meu..." Balbi*

AGRADECIMENTOS

Em especial...

À minha orientadora **Ph.D Jaqueline Huzar-Novakowski**, por correr a minha frente a me ensinar... Mostrou-me que é possível, ensinou-me como executar e por fim corria todos os riscos antes de mim...

À Fundação Universidade de Passo Fundo (FUPF), pela confiança e disponibilidade da bolsa de estudos do mestrado.

Aos meus pais Dianez Balbinotti Ferreira e Cezar Ferreira, por todos os dias que junto de mim estiveram na execução dos trabalhos de campo, embarcando na minha loucura e fazendo acontecer, choraram junto comigo várias vezes.

Aos meus avós Diomira e Euclides Balbinotti, pelas palavras sábias quando por fim cabisbaixo ficava, lá estavam para me sustentar.

À minha irmã Milena Balbinotti Ferreira, pela ligação de sangue e de alma por apenas estar, sem falar, apenas a me olhar isso é e sempre será o suficiente.

Ao meu irmão de coração Matheus Moraes, por cuidar de minha saúde física e mental, “tu acreditas no que tu fazes essa é a linha que divide os que chegam no resultato dos que desistem”.

Aos produtores rurais Valmor Lourenço Cavalini, Erenilda da Silva Cavalini e Horacil da Silva Cavalini, pela disponibilidade de um dos campos para o estudo, a surpresa de vocês em ver os resultados foi até maior que a minha.

Aos meus filhos de coração grato pelo suporte na universidade. Maurício Barbieri pela ânsia em ver acontecer me via em você o tempo inteiro. Kelen Bordignon pela vontade de querer fazer me vejo assim todos os dias. Júlia de Britto pela força de querer se chegar busco por isso quase todas as horas do dia. Matheus Carlos Durigon pela serenidade em dominar a resiliência finalizei me espelhando em sua tranquilidade.

À Cleisla Molin, das gratas surpresas da vida. Aquele olhar torto no primeiro dia de equipe “não acredito que vou ter que trabalhar com esse cara aí” apostado que ela pensou. E que bela amizade construimos, quantos perrengues passamos, do mestrado para a vida.

À Julia Renata Schneider, pela afinidade de energias sua sabedoria guiou meus passos nessa caminhada. Quem diria que tudo começou com um simples comentário em seminários, suas palavras foram e são combustível da minha verdade, a simplicidade com que encara a vida foi meu aporte quando todos me apedrejavam. Grato pela leve amizade que descobrimos, o termo é clichê, mas é verídico da pós-graduação pra vida.

À Fazenda Pedaco de Chão

Agradeço a toda a equipe em especial a meu pai, pelos recursos financeiros, materiais, equipamentos agrícolas, suporte técnico e a disponibilização de quatro campos para condução do estudo.

Ao meu tio Rosemiro Balbinotti pela logística de levar quatrocentos vasos de solo de Soledade para UPF. Foi sofrido, mas valeu a pena.

Ao meu primo Junior César Balbinotti, pelo suporte nas avaliações e contagem semanal de estande, o número final de plantas contabilizadas assusta.

À Fernanda Amarante, pela confecção das bolsas de pano para colheita, foi quase do dia para noite que você as fez.

À Universidade de Passo Fundo

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

À Danieli Gugel pela presteza com a bolsa de estudos, pelas longas conversas tranquilizantes com elas o processo de pós graduação foi lindo.

À Renata Jung pelo suporte nesse último mês pela idoneidade em fazer acontecer minha defesa, sem falar nos debates de futebol.

À Maristela Canabarro, pelo chá que todos os dias me presenteava, por organizar minha bagunça e pelas doses diárias de risadas.

À Patricia Palaoro, pela vontade em fazer acontecer, certa vez me disseram que o esforço é a porta do sucesso. Fomos salvos pelo tempo...

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, pelo suporte técnico.

À Luciane Silva, pela verdade de seus gestos seu abraço me inspira a ser grande todos os dias, “acredite na tua verdade transforme as injustiças em justiça”, ah como descrever quem te adota como um filho...

A Valdecir Bogoni, pelos empenhos de consertos de equipamntos aberto e deferidos no mesmo dia, te incomodei demais só me aturaste porque existe algo chamado amigo.

Ao Laboratório de Fitopatologia e Nematologia UPF, pelo suporte técnico.

À Mestre Cinara de Araújo por me presentear com seu vasto conhecimento na parte de microbiologia, que privilégio tive de ter sua ajuda nos isolamentos do patógeno.

À Ana Lütkemeyer pelas observações iniciais do efeito da calagem na podridão radicular de *Rhizoctonia*.

À Monikeli, mesmo longe me abraçou todas as vezes que pensei em desistir, pelo suporte nas disciplinas que em segundo plano tive que vir a deixá-las.

Ao Laboratório de Física e Águas do solo UPF, por as portas abrir.

Ao Prof. Dr. Vilson Klein, pela astúcia em fazer acontecer, e por todos os conselhos obrigado pelo voto de confiança meu amigo.

A Química Manuelli Zulpo pela ajuda durante meses nas análises de física do solo.

Ao Laboratório de Olericultura da UPF pela disponibilidade de uma das casas de vegetação no primeiro ano. Grato ao Prof. Dr. José Chiomento.

Ao Prof. Dr. Mateus Possebon Bortoluzzi, pelo auxílio na calibração de um dos experimentos.

A UPF Parque Científico e Tecnológico, pela disponibilidade dos equipamentos. Em especial ao Doutorando Gustavo Visentini por se doar de tal forma me presenteando com sua genialidade e simplicidade me ensinando o novo com drones e câmera multiespectrais para NDVI e NDRE.

Coordenação do PPGAgro

Ao ex-coordenador Prof. Dr. Alexandre Nienow, por me ouvires e se permitir entender se empenhando o máximo possível na liberação da estrutura para formação do Laboratório de Microbiologia Agrícola, juntamente com as estruturas externas para as casas de vegetação.

À Coordenadora Prof. Dra. Nadia Canalia Lângaro, pela pessoa justa e humana, nada disso estaria acontecendo se não fosse seu pulso firme em fazer acontecer.

À Reitoria da Universidade de Passo Fundo

Vice-reitor Administrativo - professor Dr. Antônio Thomé, por acreditar em minha verdade.

Ao Laboratório de Microbiologia Agrícola UPF

Minha casa para todo e sempre.

Em especial a equipe inicial que fez tudo aquilo acontecer numa bela noite chuvosa. À Jaqueline Huzar-Novakowski, a mim Maicon Balbinotti, Maurício Barbieri, Kelen Bordignon, Júlia de Britto e Cleisla Molin.

À Michele Gevinski pela rapidez que enumerava os componentes de produtividade.

Colaboradores

Ao Laboratório BASE, por abrir suas portas para extração dos elementos. Em especial aos proprietários Ademir e Grazielle Wendling pela disponibilidade em me ouvir, um estranho, mas acima de tudo por colaborarem de forma expressiva na parte químicas de solo com a total liberdade que tive em conjunto da equipe BASE.

Ao Laboratório Agrônômica, Dra. Carolina Wesp Guterres pelo suporte na parte nematológica, que troca de conhecimento tivemos, que privilégio o meu em te ouvir.

À Embrapa Trigo, ao pesquisador Dr. José Pereira da Silva Júnior pela disponibilidade da metodologia de análise microbiológica do solo.

Ao Dr. Renato Serena Fontaneli pela ajuda na Embrapa, amizade e conselhos.

Com carinho especial

Ao Prof. Dr. Carlos Forcelini, por ser a minha primeira inspiração de fitopatologista foi através dele que me descobri e comecei a entender o quão apaixonado sou por uma tal doença de plantas, vibro quando elas aparecem. Me encontrei na objetividade e a partir de seus ensinamentos aprendi transformar uma vasta epidemiologia em um sintoma direto. Foi na ingenuidade de um e-mail enviado de como montar um controle químico que ganhei sua amizade.

Ao Prof. Dr. Pedro Escosteguy, por me ensinar o quão fascinante é o elemento solo, foi através de sua sabedoria que aprendi a brincar com a fertilidade do solo. Grato por estar junto comigo nos experimentos de campo me auxiliando na identificação das classes de solos. Quem diria que um 0,9 numa prova de adubos fosse a chave para se ganhar um segundo pai.

Aos meus grandes Amigos

A Fernando de Oliveira, aquele mano véio que acredita mais em mim do que eu próprio, que sabes me ouvir nas coisas mais simples.

À Larissa Borges, a ela, quando surtei me estendeu a mão largou tudo e veio bater estaca comigo, e sem falar que me colocas no prumo todo dia.

À Tatiane Botezini, a ela que menos de dois dias de bate pronto entrou na locura, desdobramos uma doença, a embasamos, argumentamos e ganhou vida no solo e sem falar que interpreta todas as minhas loucuras quase que todo dia.

A Vanei Tonini, por ainda à me ensinar, não foram apenas quebras de reações químicas de solo, foi mais uma ligação de energia, uma afinidade de pensamentos meu mano véio

A Maicow Oliveira, só a cara de rabujento tens porque o coração é mais gigante que o braço, acho que seu abraço chegou no momento em que eu mais precisava, talvez tenha te cansado demais com minhas lamúrias. E quantas vezes erguestes a minha cabeça nesses últimos meses. Acho que os bons amigos simplesmente acontecem em nossa vida, grato pela sua verdade.

À Rafaela Roessler, por ser esse ser humano de luz, que ama meus versos sempre os queres em primeira mão. Acho que somos fã um do outro.

Às mais belas gurias ou belas rosas de espinho, que me puxam a orelha todo santo dia: Karoline Melara; Joszeane Sutili Loff; Aveline Avozani; Gabriela Desbesel; por quase todos os dias me falarem “quanto orgulho sinto de você”, podem ter certeza que sinto o mesmo de vocês.

A Pedro Loff de Oliveira, dos presentes da vida, deu alegria aos meus dias.

À Tatiane Benedetti, por me fazer enxergar o quão guerreiro posso ser. “Tu te emocionas, tu choras, tu vives, simplesmente porque tu és do bem...”

À Deus pelas longas conversas...

A todos os meus amigos de luz que junto de mim estiveram.

À Nossa Senhora Aparecida pela vida.

“Ou tu gostas ou tu gostas da tal de pesquisa, não existe meio termo, confesso se precisa abrir mão de muito... por fim o negócio é meter a cara e fazer acontecer”

A mim...

“Com a certeza de não ter sido o melhor, mas sim ter feito o meu melhor”

“Ninguém chega a lugar algum sozinho.”

Balbi

“A busca de repostas é algo que vai além da compreensão técnico-científica. É preciso de uma reflexão cultural, onde se associe canais simples de ligação, entre o científico e o homem do campo.”

Balbi

RESUMO

BALBINOTTI, Maicon. Podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja: fatores edáficos que interferem na incidência e efeito da calagem. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2022.

A podridão radicular de *Rhizoctonia* (PRR) é uma doença causada pelo fungo *Rhizoctonia solani* que causa a morte de plantas de soja em reboleiras. É uma doença de difícil controle, uma vez que o patógeno é um habitante natural do solo, e apresenta ampla gama de hospedeiros. Sabe-se que fatores edáficos podem afetar a ocorrência de doenças em plantas, no entanto, há limitada informação sobre quais fatores edáficos são primordiais para a ocorrência de PRR em soja. Além disso, como não há cultivares de soja com resistência genética, o controle químico com fungicidas é restrito ao tratamento de sementes, outros métodos de controle como o cultural poderiam ser empregados para manejo da doença. Assim, os objetivos do trabalho foram *i)* determinar quais atributos físicos, químicos e biológicos do solo se correlacionam com a ocorrência da PRR em soja, e *ii)* verificar o efeito da aplicação de doses de calcário na incidência de PRR e produtividade de soja. Inicialmente, foram selecionados quatro campos com diferentes classes de solo (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb, Nitossolo) com histórico de ocorrência de PRR em soja no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil. No primeiro estudo, amostras de solo foram coletadas entre março e junho de 2020 em dois locais no campo (dentro e fora da reboleira). Para caracterização química e física foram consideradas amostras estratificadas nas camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, enquanto para análise biológica as amostras foram coletadas na camada de 0-10 cm. Foram avaliados 18 atributos químicos, 16 atributos físicos e dois atributos biológicos. As variáveis químicas mais correlacionadas com o local dentro da reboleira foram Al trocável, H+Al, saturação por Al e teor de Cu. Todavia, as variáveis com maior correlação no local fora da reboleira foram Mg, Ca, pH, SMP, CTC_{efetiva} e saturação por bases. Quanto aos atributos físicos não foi verificada consistência nos dados quanto ao local de coleta dentro ou fora da reboleira. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os locais no campo para unidades formadoras de colônia de bactérias e fungos. O segundo estudo consistiu em um experimento realizado em condições de campo na safra 2020/2021. Os tratamentos foram arranjos em um esquema fatorial de 4 campos x 2 locais em cada campo (dentro e fora da reboleira) x 4 doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. A incidência de PRR dentro da reboleira foi em média de 40%, enquanto fora da reboleira foi de 1,2%. A redução na incidência da doença foi de 3,9%, 3,7%, 3,6% e 1,8% para cada 1.000 kg de calcário aplicado para o Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo, respectivamente. A maior produtividade de soja foi de 4713 e 3349 kg ha⁻¹ para o Argissolo e o Nitossolo com aplicação de 6,6 e 6,2 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. A produtividade da soja nos Cambissolos aumentou linearmente com a calagem. A melhoria de produtividade atingiu 121 e 172 kg ha⁻¹ para cada 1000 kg de calcário aplicado no Cambissolo Ta e Cambissolo Tb, respectivamente. Assim, a calagem reduziu a incidência de PRR em todos os campos e promoveu melhor nutrição da planta aumentando a produtividade da soja. A calagem é, portanto, uma prática que contribui com a fertilidade do solo e o controle de doenças de plantas.

Palavras-chave: 1. Controle cultural. 2. *Glycine max*. 3. Física do solo. 4. Química do solo. 5. *Rhizoctonia solani*.

ABSTRACT

BALBINOTTI, Maicon. Rhizoctonia root rot in soybean: edaphic factors that affect the incidence and effect of liming. 144 f. Dissertation (Masters in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2022.

Rhizoctonia root rot (RRR) is a disease caused by the fungus *Rhizoctonia solani* that causes the death of soybean plants in patches over croplands. The control is difficult since the pathogen is a natural inhabitant of the soil and has a wide range of host plants. It is known that edaphic factors can affect the occurrence of diseases in plants, however, there is limited information about which edaphic factors are essential for the occurrence of RRR in soybean. Furthermore, as there are no soybean cultivars with high genetic resistance and chemical control with fungicides is restricted to seed treatment, other control methods such as cultural control could be used to manage the disease. Thus, the objectives of this work were *i)* to determine which physical, chemical and biological attributes of the soil correlate with the occurrence of RRR in soybean, and *ii)* to verify the effect of application of limestone rates on the incidence of RRR and soybean yield. Initially, four fields were selected with different soil classes (Acrisol, Cambisol Ta, Cambisol Tb, Nitisol) and history of occurrence of RRR in soybean in the municipality of Soledade, Rio Grande do Sul, Brazil. In the first study, soil samples were collected between March and June 2020 at two locations in the field (inside and outside the patch). For chemical and physical characterization, samples were stratified in 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm layers, while for biological analysis the samples were collected at a depth of 0-10 cm. In total, 18 chemical attributes, 16 physical attributes and two biological attributes were evaluated. The variables chemicals most correlated with the location within the patch were Al, H+Al, Al saturation and Cu content. However, the variables with the highest correlation at the site outside the patch were Mg, Ca, pH, SMP, CTC and base saturation. As for the physics attributes, there was no consistency in the data regarding the location inside or outside the patch. There was no significant difference ($p > 0.05$) between the sites for bacterial and fungal colony-forming units. The second study consisted of an experiment carried out under field conditions in the 2020/2021 crop season. The treatments were arranged in a factorial scheme of 4 fields x 2 sites in each field (inside and outside the patch) x 4 doses of limestone (0, 3, 6 and 9 t ha⁻¹). The experimental design was in complete blocks with four replications. The incidence of RRR inside the patch was on average 40%, while outside the patch it was 1.2%. The reduction in the incidence of the disease was 3.9%, 3.7%, 3.6% and 1.8% for each 1,000 kg of limestone applied to the Acrisol, Cambisol Ta, Cambisol Tb and Nitisol, respectively. The highest soybean yield was 4713 and 3349 kg ha⁻¹ for the Acrisol and Nitisol with application of 6.6 and 6.2 t ha⁻¹ of limestone, respectively. Soybean yield in the Cambisols increased linearly with liming. The productivity improvement reached 121 and 172 kg ha⁻¹ for each 1000 kg of limestone applied in the Cambisol Ta and Cambisol Tb, respectively. Thus, liming reduced the incidence of RRR in all fields and promoted better plant nutrition, increasing soybean productivity. Liming is, therefore, a practice that contributes to soil fertility and plant disease control.

Key words: 1. Cultural control. 2. *Glycine max*. 3. Soil physics. 4. Soil chemistry. 5. *Rhizoctonia solani*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	<i>Etiologia da podridão radicular de Rhizoctonia</i>	21
2.2	<i>Plantas hospedeiras do fungo Rhizoctonia solani</i>	21
2.3	<i>Sintomatologia</i>	22
2.4	<i>Epidemiologia</i>	24
2.5	<i>Doença oculta</i>	28
2.6	<i>Fatores bióticos</i>	28
2.6.1	Genéticos	28
2.6.2	Biológicos	29
2.7	<i>Fatores abióticos</i>	30
2.7.1	Edáficos (ambiente planta)	30
2.8	<i>Métodos de controle</i>	33
2.8.1	Controle genético	33
2.8.2	Controle químico	34
2.8.3	Controle biológico	34
2.8.4	Controle cultural	35
2.9	<i>Efeito da calagem em doenças de plantas</i>	36
3	CAPÍTULO I	38
	ATRIBUTOS DO SOLO ASSOCIADOS À PODRIDÃO RADICULAR DE RHIZOCTONIA EM SOJA NO SUL DO BRASIL	38
3.1	<i>Resumo</i>	38
3.2	<i>Introdução</i>	39
3.3	<i>Material e Métodos</i>	41
3.3.1	Caracterização local do estudo	41
3.3.2	Classificação dos solos	42
3.3.3	Local de amostragem	47
3.3.4	Caracterização química do solo	47
3.3.5	Caracterização física do solo	49
3.3.6	Análise microbiológica do solo	50
3.3.7	Avaliação de incidência da doença e produtividade da soja	51

3.3.8 <i>Análise estatística</i>	51
3.4 <i>Resultados</i>	52
3.4.1 <i>Análise química - Argissolo</i>	52
3.4.2 <i>Análise química - Cambissolo Ta</i>	53
3.4.3 <i>Análise química - Cambissolo Tb</i>	53
3.4.4 <i>Análise química - Nitossolo</i>	54
3.4.5 <i>Análise química - ACP</i>	60
3.4.6 <i>Análise física - Argissolo</i>	63
3.4.7 <i>Análise física - Cambissolo Ta</i>	63
3.4.8 <i>Análise física - Cambissolo Tb</i>	64
3.4.9 <i>Análise física - Nitossolo</i>	64
3.4.10 <i>Análise física- ACP</i>	70
3.4.11 <i>Análise microbiológica</i>	70
3.4.12 <i>Incidência de podridão radicular de Rhizoctonia e produtividade de soja</i>	70
3.5 <i>Discussão</i>	75
3.6 <i>Conclusão</i>	80
4 CAPÍTULO II	81
EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO SOBRE A INCIDÊNCIA DA PODRIDÃO RADICULAR DE RHIZOCTONIA E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM QUATRO TIPOS DE SOLO	81
4.1 <i>Resumo</i>	81
4.2 <i>Introdução</i>	82
4.3 <i>Material e Métodos</i>	84
4.3.1 <i>Local do experimento</i>	84
4.3.2 <i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	84
4.3.3 <i>Aplicação do calcário</i>	89
4.3.4 <i>Cultura da soja</i>	90
4.3.5 <i>Avaliação da doença</i>	90
4.3.6 <i>Componentes de produtividade</i>	92
4.3.7 <i>Análise estatística</i>	93
4.4 <i>Resultados</i>	94
4.5 <i>Discussão</i>	117
4.6 <i>Conclusão</i>	121
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
6 CONCLUSÃO GERAL	123
REFERÊNCIAS	124

1 INTRODUÇÃO

A morte de plantas de soja em padrão de “reboleira” é um problema recorrente em vários campos de produção. Como consequência, ocorre redução na população final de plantas com danos na produtividade e menor rentabilidade da atividade agrícola. Dentre as possíveis causas da morte de plantas em reboleira, está a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia*, uma doença que é causada pelo fungo *Rhizoctonia solani*. A doença pode atacar as plantas de soja em qualquer estágio de desenvolvimento. Os sintomas são caracterizados por lesões arroxeadas no colo da planta com frequente estrangulamento da haste acarretando bloqueio na translocação de água, nutrientes e fotoassimilados com consequente morte da planta. O problema é agravado pelo fato do patógeno ser um habitante natural do solo e apresentar ampla gama de plantas hospedeiros.

A ocorrência de doenças em plantas por patógenos de solo pode ser afetada por vários fatores edafoclimáticos. Com relação ao solo, práticas de manejo podem alterar as características físicas, químicas e biológicas do solo e influenciar a dinâmica da doença. Sabe-se que algumas doenças podem ser favorecidas por fatores físicos do solo como nível de compactação, textura e capacidade de drenagem. Além disso, vários nutrientes como o cálcio, nitrogênio e potássio se relacionam à defesa da planta e também podem favorecer ou desfavorecer a ocorrência da doença dependendo do seu nível no solo. Por fim, fatores biológicos como nível populacional de fungos e bactérias sejam antagonistas ou fitopatógenos podem exercer influência na dinâmica da doença.

Há limitada informação sobre quais fatores edáficos são primordiais para a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Além disso, algumas informações disponíveis foram obtidas com base em experimentos em condições de casa de vegetação e podem não representar a totalidade da dinâmica da interação solo-planta-

patógeno. Assim, busca-se com este estudo verificar quais as características biológicas, físicas e químicas de solo favorecem a ocorrência da doença e o efeito da calagem em sua supressão. A calagem é uma prática rotineira usada pelos produtores brasileiros para corrigir problemas com acidez dos solos. A aplicação de calcário, além de fornecer cálcio e magnésio, os quais são nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, afeta a disponibilidade de outros nutrientes do solo. Assim, espera-se que vários efeitos tanto diretos como indiretos ocorram após a calagem incluindo uma melhor nutrição da planta com menor incidência de doenças.

Desta forma, o objetivo geral do trabalho foi identificar quais fatores edáficos interferem na ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* e verificar se a calagem auxilia na supressão da doença na cultura da soja.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Definir quais atributos químicos do solo afetam a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja;
- Determinar quais atributos físicos do solo se relacionam com a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja;
- Caracterizar e comparar a comunidade microbiana do solo em áreas com e sem a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja;
- Avaliar o efeito de doses de calcário sobre a incidência da doença na cultura da soja;
- Analisar o efeito da aplicação de calcário sobre a produtividade e componentes da produtividade de soja em área com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia*.

A identificação de quais fatores edáficos contribuem para a ocorrência da podridão radicular de *Rhizoctonia* poderá servir como um guia para determinar práticas de manejo que poderiam ser usadas como forma de afetar o patógeno ou mesmo as condições ambientais como forma de desfavorecer a ocorrência da doença. Além disso, se for verificado que a calagem contribui para a redução da doença na cultura da soja,

poderá ser utilizada em um programa de manejo integrado visando reduzir os danos causados pela doença e contribuindo para a sustentabilidade do sistema de produção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão serão abordados aspectos relacionados à podridão radicular de *Rhizoctonia* na cultura da soja incluindo etiologia, sintomatologia, epidemiologia, doença oculta, fatores bióticos, fatores abióticos e métodos de controle da doença. Em seguida, serão apresentadas informações a respeito de práticas de manejo do solo que afetam o controle de doenças em plantas com ênfase na calagem.

2.1 Etiologia da podridão radicular de *Rhizoctonia*

A podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja também conhecida como rizoctoniose é causada pelo fungo *Rhizoctonia solani* J. G. Kühn pertencente ao filo Basidiomycota, classe Agaricomycetes, ordem Cantharellales e família Ceratobasidiaceae (MYCOBANK, 2022).

2.2 Plantas hospedeiras do fungo *Rhizoctonia solani*

Rhizoctonia solani é um fungo polífago e que pode ser encontrado em diversas regiões ao redor do mundo. Há o registro de mais de 1.500 plantas hospedeiras de *R. solani* no Fungal Database (FARR & ROSSMAN, 2022). Além da soja, outras culturas de importância econômica, para o Brasil como alface (*Lactuca sativa* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), aveia-branca (*Avena sativa* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), também são suscetíveis a esse fungo.

Além do Brasil, o fungo *R. solani* já foi relatado oficialmente atacando a cultura da soja nos seguintes países: Bulgária, Canadá, China, Cuba, Estados Unidos, Grécia,

Índia, Irã, Japão, México, Taiwan, Tailândia, Venezuela e Zimbábue (FARR & ROSSMAN, 2022).

2.3 Sintomatologia

Rhizoctonia solani é um fitopatógeno que pode atacar a cultura da soja, desde estágios iniciais de estabelecimento, até estágios mais avançados de desenvolvimento (RAHMAN et al., 2020). No início da estação de cultivo, *R. solani* pode causar podridão de sementes e retardar a emergência das plântulas causando tombamento ou “*damping-off*” (OMARA et al., 2017; WRATHER et al., 2001) (Figura 1).

Figura 1 - Plântulas de soja com sintomas de tombamento causado por *Rhizoctonia solani*.



Fonte: BALBINOTTI (2020).

Em plantas adultas de soja, os sintomas são caracterizados por lesões marrom-arroxeadas na região do colo da planta comumente com presença de constrições causando estrangulamento (Figura 2), com conseqüente comprometimento da translocação de água e nutrientes pelo xilema e de fotoassimilados pelo floema o que, inevitavelmente, leva a planta à morte (MICHEREFF, ANDRADE & MENEZES, 2005). Em estádios mais

avançados de desenvolvimento da planta de soja, a podridão radicular de *Rhizoctonia* pode ocasionar coloração marrom-escuro a preto na região do caule e estrias avermelhadas nas raízes da planta de soja (AMORIM et al., 2016).

Figura 2 - Sintomas da podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em plantas de soja. As setas vermelhas indicam as lesões arroxeadas no colo das plantas.



Fonte: BALBINOTTI (2021).

A ocorrência de plantas de soja atacadas por *R. solani* geralmente é observada pela presença de “reboleiras” em campos de cultivo (Figura 3), as quais são áreas menores de formato circular ou mesmo irregular (FENILLE, 2001).

Figura 3 - Reboleiras com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em soja no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: BALBINOTTI (2020).

Em regiões mais quentes do Brasil, *R. solani* pode causar a “mela”, uma doença que afeta a parte aérea da planta de soja. Os sintomas nas folhas são caracterizados por lesões nas bordas da folha com coloração variando de pardo, marrom-escuro a preto (FENILLE et al., 2002). Outro sintoma é evidenciado em forma de murcha ou podridão-mole no limbo foliar, que sob condições de elevada umidade ocorre a formação de micélio e com baixa umidade apenas manchas necróticas a marrons (WOICIECKOSKI et al., 2016). Entretanto, nas condições do estado do Rio Grande do Sul não é comum observar a ocorrência de mela, sendo predominante a presença de tombamento e podridão radicular devido ao ataque de *R. solani* na cultura da soja.

2.4 Epidemiologia

O fungo *R. solani* é um habitante natural do solo (LIU et al., 2019), que produz estruturas de sobrevivência chamadas de microescleródios (Figura 4).

Figura 4 - Colônia do fungo *Rhizoctonia solani* com formação de microescleródio.



Fonte: BALBINOTTI (2021).

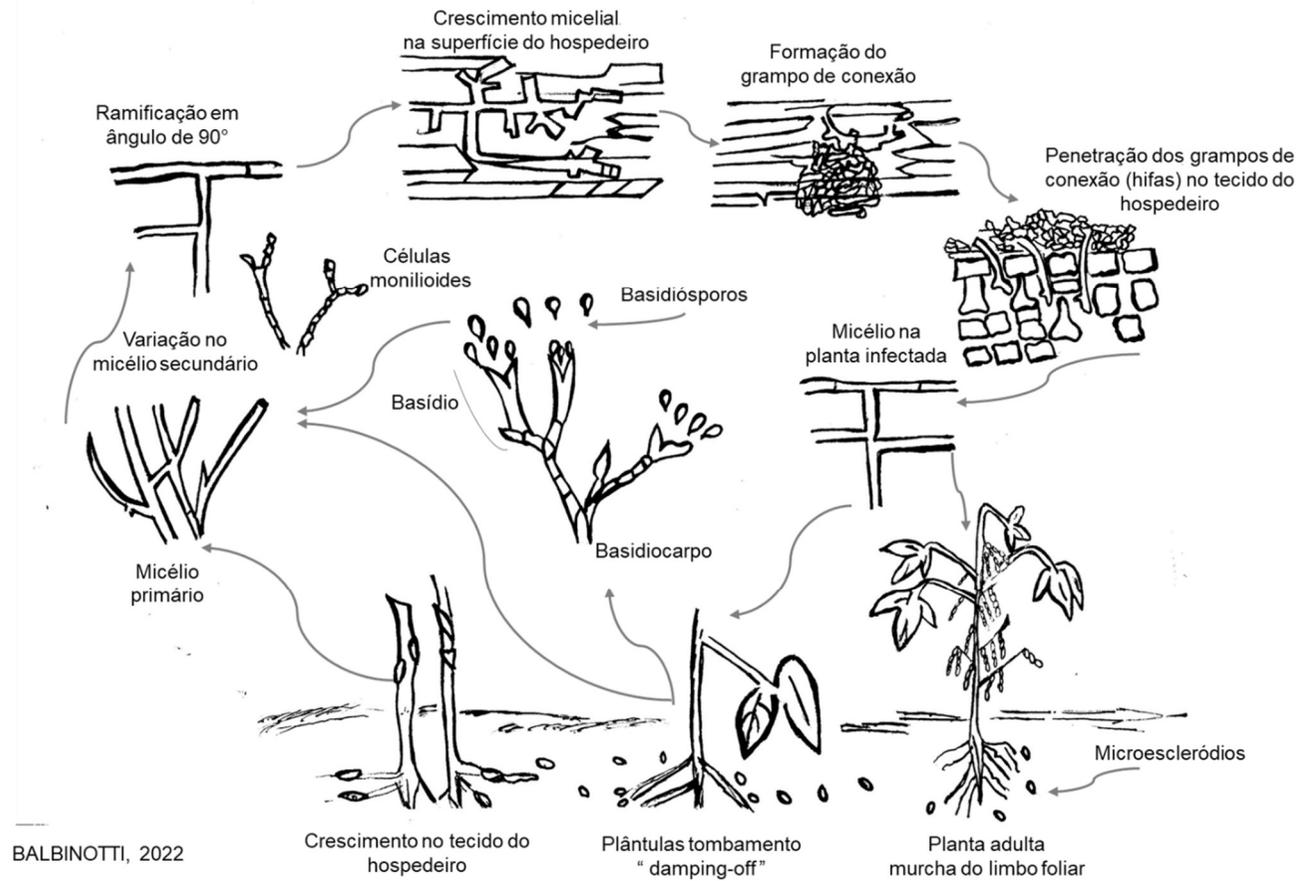
A ligação patógeno-hospedeiro na cultura da soja inicia com as estruturas do fungo, os micélios, e as estruturas de sobrevivência os microescleródios, os quais estão aderidos ao solo por meio de restos de culturas e podem também estar aderidos em sementes (SAGGIN & LEIRIA, 2002). O microescleródio germina ocorrendo o crescimento de micélio sobre a superfície da raiz da planta inicialmente, desta forma várias camadas de infecção são formadas podendo ocorrer o tombamento “damping-off” das plântulas (Figura 5). *Rhizoctonia* tem um formato único em formação de hifas com ângulos retos, hifas que se ramificam em ângulos de 45° e 90° (BARNETT & HUNTER, 1972; MORAES & MELCHIADES, 1991).

Em alguns casos o fitopatógeno produz basidiocarpo com a liberação de basidiósporos sexuais, e estes germinam e infectam as plantas por meio dos estômatos (SAGGIN & LEIRIA, 2002). A infecção da doença via micélio acontece via machucados e estômatos. O fitopatógeno pode afetar desde raízes, folhas, caules, base da planta e frutos, e a contaminação ocorre de forma mais agressiva para os que estão mais próximos do solo (Figura 5) (SAGGIN & LEIRIA, 2002).

As estruturas do fitopatógeno se espalham pelo solo através da água da chuva, equipamentos agrícolas e demais objetos que possam vir a ter contato direto com solo contaminado. O fungo pode ainda se desenvolver de uma planta para outra. A variação de temperatura de 15 a 18 °C do ambiente externo em associação com umidade alta do solo favorece a infecção dos fitopatógeno nas plantas de soja, porém solos mais secos deixam as plantas com maior suscetibilidade e conseqüentemente aumentam a severidade dos danos pós infecção (BARNETT & HUNTER, 1972; MORAES & MELCHIADES, 1991; SAGGIN & LEIRIA, 2002).

Doenças causadas por fitopatógenos de solo são favorecidas em regiões de temperaturas amenas, solos mais argilosos e com maior umidade. O inóculo permanece nas camadas mais superficiais do solo (0-10 cm), próximo às raízes das plantas, na chamada “rizosfera”. O ambiente formado na rizosfera difere do solo livre, sendo este mais ácido, assim o pH na superfície da raiz difere do pH nas camadas mais profundas. Está relação está diretamente ligada com a liberação de exsudatos pelas raízes (NYE, 1981), sendo que, de modo geral, a variação do pH não é o problema pois este é apenas um indicador.

Figura 5 - Ciclo da relação patógeno-hospedeiro de *Rhizoctonia solani* em soja (adaptado de Saggin & Leiria, 2002).



Fonte: BALBINOTTI (2022).

2.5 Doença oculta

O solo é um sistema vivo, sua qualidade é o resultado da interação físico-químico e biológica (JANVIER et al., 2007). Solo também pode vir a transmitir doenças ameaçando assim as plantas cultiváveis, doenças essas de difícil controle devido ao modo “oculto” dos patógenos presentes ao solo (JANVIER et al., 2007). Doenças originárias de fungos que são transmitidas via solo para plantas de cultivo são um grande problema na agricultura, para gerir essas doenças é preciso atrelar as interações que ocorrem entre plantas e fungos abaixo do solo, a ambientes ecológicos (AMPT et al., 2019).

Para se entender doenças fúngicas ocultas transmitidas via solo é necessário entender as interações complexas das espécies de fungos. O patógeno pode estar presente em todo e qualquer ambiente “solo”, mas como o próprio nome diz este pode estar na forma oculta, quantidade de inóculo insuficiente para causar doença, ou mesmo hospedeiro não ser suscetível a infecção da doença (AMPT et al., 2019). Uma das formas de evitar o acúmulo de patógenos no solo é interromper o ciclo hospedeiro-patógeno através da rotação de culturas (ALEXANDER, 2010).

Ou seja, o acúmulo de “inimigos fitopatogênicos” causadores de doenças é reduzindo em ambientes rico em espécies (como pastagens), do que em ambientes com monocultura, a presença de espécies heteroespecíficas contribui em maior grau a dinâmica da doença (AMPT et al., 2019).

2.6 Fatores bióticos

2.6.1 Genéticos

Um dos métodos mais eficazes de controle de doenças em planta é a resistência genética (AGRIOS, 2005; MATTIELO et al., 1997). Entretanto, para patógenos de solo, o processo de compreensão de defesa da planta não acompanha o mesmo ritmo de

patógenos foliares, com grande diferença na ecologia, ciclo de vida e formas de infecção (FOLEY et al., 2013).

A resistência genética é definida como uma característica herdável da planta, que contribui para *i*) localização e isolamento do patógeno no ponto de infecção, para *ii*) reduzir efeitos tóxicos de substâncias produzidas pelo patógeno ou para *iii*) inibir a sua reprodução e disseminação (AGRIOS, 2005).

A resistência da planta a um determinado fitopatógeno pode ser conferida por um único gene, sendo denominada de resistência qualitativa, completa, vertical ou raça-específica (AGRIOS, 2005; CAMARGO & BERGAMIN FILHO, 1995). No entanto, se a resistência é decorrente de vários genes passa a ser denominada de resistência quantitativa, parcial, horizontal ou raça não-específica (AGRIOS, 2005; CAMARGO & BERGAMIN FILHO, 1995).

A maioria das cultivares de soja cultivadas nos Estados Unidos são suscetíveis a *R. solani* (BRANDLEY et al., 2001). No Canadá, em um estudo onde foi avaliada a reação de resistência a campo de 70 cultivares de soja, apenas três foram caracterizadas como resistentes a *R. solani* (ZHANG et al., 2013). No Brasil, em estudo conduzido por Ben (2015), 40 cultivares de soja foram avaliadas quanto à resistência a *R. solani*, sendo que quatro cultivares (CEP 64, TEC 6070, NS 5959 e V-TOP) foram superiores às demais quando expostas ao patógeno.

2.6.2 Biológicos

Fator biológico é uma alternativa promissora para controle de doenças causadas por patógenos de solo, entretanto, seu uso é ainda muito pouco explorado pelos produtores. São várias as definições para controle biológico, contudo destaca-se a de Cook & Baker (1983) em que o controle biológico pode ser definido como “a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença provocada por um patógeno, realizada por ou através de um ou mais organismos que não o homem”. Esse é um

conceito considerado amplo, pois abrange qualquer controle obtido por meio de um sistema vivo, exceto o homem (MARIANO et al., 2005).

Os mecanismos de controle biológico podem ser divididos da seguinte maneira: i) antibiose com a produção de compostos antimicrobianos; ii) competição por nutrientes, espaço, água e oxigênio; iii) parasitismo direto por meio do ataque de hifas e estruturas de reprodução e sobrevivência; iv) predação de alimento ou outras fontes; v) hipovirulência através de linhagens do patógeno menos agressivas ou não patogênicas para fins de transmissão da característica para as patogênicas e/ou; vi) indução de defesa/resistência da planta hospedeira em que o antagonista ou seus metabólitos alteram os mecanismos bioquímicos de resposta do hospedeiro (MELLO et al., 2020).

2.7 Fatores abióticos

2.7.1 Edáficos (ambiente planta)

A ocorrência de doenças de plantas, causada por patógenos de solo pode ser afetada por vários fatores edáficos. Assim, práticas de manejo que alteram as características físicas e químicas do solo, influenciam a dinâmica da doença. Patógenos de solo, geralmente, colonizam raízes o caule e infectam as raízes reduzindo, assim, processos fisiológicos da planta, como absorção de água e nutrientes (GHINI & MORANDI, 2006). Um solo em equilíbrio, com pH na faixa 6,6 a 7,0, teores nutricionais balanceados, sem excesso de sais fomentam a atividade biológica (HARRIES et al., 2020).

Solos com adequadas condições: física, química e biológica, são, por si só, compreendidos como “solos supressivos”. Essa condição possibilita suprir, reduzir, equilibrar e controlar doenças em plantas (HÖPER & ALABOUVETTE, 1996). Quando ocorre qualquer alteração no solo, ocorre, também, um desequilíbrio na porção supressiva, aumentando assim a população de patógenos (SCHLATTER et al., 2017).

As partículas minerais e orgânicas formam a matriz do solo, a qual é permeada por poros pequenos e grandes (STAMFORD et al., 2005). Esses espaços interferem diretamente na biota do solo. Assim a agregação das partículas delimita as porções porosas, que propiciam um ambiente para o desenvolvimento de bactérias, minhocas, microartrópodos, protozoários e fungos, incluindo microorganismos que podem ser fitopatogênicos, benéficos ou inertes para a planta (LIDDELL, 1997).

Algumas classes de solo, podem, por sua vez ter um potencial maior de agregação de partículas estruturais, diminuindo de forma significativa a porosidade e, conseqüentemente, a retenção de umidade e a aeração (STAMFORD et al., 2005). A umidade do solo tem fundamental importância no desenvolvimento de patógenos radiculares. A baixa disponibilidade, ou o excesso, afetam diretamente o patógeno e o hospedeiro, mas também outros microorganismos (LIDDELL, 1997; McDONALD, 1994; TSAI et al., 1992). Dessa forma, toda a comunidade do solo é influenciada. Esses fatores, por sua vez, agem diretamente no poder de supressividade natural do solo (BETTIOL & GHINI, 2005).

Solos com proporções elevadas de matéria orgânica possibilitam uma melhor infiltração de água e, dessa forma, uma melhor aeração e, estrutura com capacidade de suportar maior atividade microbiana (BETTIOL & GHINI, 2005). Em sistemas de cultivo agrícola, com maior cobertura vegetal e teor matéria orgânica, há, conseqüentemente, maior atividade microbiana. A decomposição desses restos vegetais libera substâncias como: micronutrientes, aminoácidos e hormônios (BETTIOL & GHINI, 2005). Quando essa associação de componentes químicos adere ao solo, pode ocorrer um controle natural do patógeno, ou talvez propiciar uma resistência do hospedeiro ao patógeno, afetando diretamente tanto os antagonistas como a severidade da doença (HOINTINK & BOEHN, 1991).

As plantas necessitam de nutrientes, ou elementos químicos essenciais, o que interfere não apenas no rendimento da cultura, mas também na resistência às doenças (WHEELER & RUSH, 2001). Toda e qualquer deficiência ou toxicidade de nutrientes propicia mudanças metabólicas, de forma a tornar o ambiente propício ao

desenvolvimento de doenças (HUBER, 1990; SCHUMANN, VASHISTH & SPANN, 2017; STAMFORD et al., 2005). No instante que o patógeno infecta a planta ocorrem alterações fisiológicas, mecanismos de defesa do metabolismo secundário são ativados, plantas bem estabelecidas, com estado nutricional ideal conseguem minimizar e tolerar, ataques de pragas e doenças (SCHUMANN, VASHISTH & SPANN, 2017). Tanto de forma indireta ou direta alguns patógenos modificam a captação, assimilação e translocação dos nutrientes. Certos patógenos de raiz imobilizam nutrientes dentro do sistema solo e tecidos vegetais infectados (ZAMBOLIM et al., 2005).

Alteração no pH do solo, variações extremas tanto para ácido ou alcalino podem interferir no controle de doenças (HÖPER & ALABOUVETTE, 1996). Mudanças de pH podem influenciar de forma direta, propiciando condições ideais ao desenvolvimento de patógenos; e, indiretamente alterando a população de microorganismos antagonistas baixando ou elevando-a (JONES et al., 1990). Em estudo feito por Bloom & Sofá (1960), doenças de gramíneas foram correlacionadas com a nutrição, pH e umidade do solo. De manchas marrons de *Rhizoctonia*, em níveis de N baixo, o pH não afetou a intensidade. Mas com altos níveis de N, a doença se mostrou mais intensa em pH 5,6 e 9,0, do que em pH 4,0. Em teores ideais de nutrição, a doença teve menor agressividade em pH 8,5 e 10,0.

Macronutrientes e micronutrientes são essenciais para vários processos fisiológicos das plantas. A nutrição mineral tem influência na resistência das plantas, atuando em modificações morfológicas na composição química da planta. A ausência de nutrientes no tecido da planta tem reflexo direto no patógeno, na sobrevivência, reprodução e desenvolvimento (HUBER & ARNY, 1985; MARCHNER, 1986; PERRENOUD, 1990; ZAMBOLIM & VENTURA, 1993). Qualquer desequilíbrio nutricional na rizosfera, reduz a resistência da planta às doenças fúngicas, propiciando um ambiente extremamente favorável aos patógenos (SCHUMANN, VASHISTH & SPANN, 2017).

Elevado teor de argila, de matéria orgânica, pH e estabilidade de agregados solo foram os fatores que limitaram o desenvolvimento de *R. solani*, em campos com produção

de tabaco, na Argentina (HARRIES et al., 2020). Em trabalho realizado por Ghini & Morandi (2006), no Brasil, foram avaliadas fatores abióticos (pH, condutividade elétrica, teor de matéria orgânica, N total, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, B, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases) e bióticos (atividade microbiana do solo, avaliada pelo desprendimento de CO₂ e hidrólise de diacetato de fluoresceína; comunidades de bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, *Pseudomonas fluorescentes* e *Fusarium* spp.) sobre a supressividade de *R. solani*. Os resultados demonstraram que somente fatores abióticos apresentaram correlação com a supressão a *R. solani*, mas o conjunto das variáveis explicou somente 51% da variação total.

Rhizoctonia solani pode crescer e infectar a soja em uma ampla faixa de temperaturas (20 a 32 °C), bem como a umidade do solo (25 a 100% da capacidade de retenção de umidade do solo) (DORRANCE et al., 2003).

O município de Soledade, onde o estudo foi desenvolvido, está localizado no alto da Serra do Botucaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. Apresenta um clima subtropical, com temperaturas amenas estendendo-se desde o início do outono ao final da primavera com invernos extremamente úmidos de elevadas precipitações e frio intenso com temperaturas negativas com frequência, variando de -6 a 25 °C. O verão sofre extrema variação devido aos ventos que sopram do quadrante sul onde a temperatura fica com noites amenas 8 a 12 °C e dias extremamente quentes podendo variar de 25 a 37 °C, com índices pluviométricos variando de regular a baixo.

O clima frio no inverno, e seco no verão juntamente com a alta altitude do município de 550 a 850 m acima do nível do mar propiciam um ambiente propenso para doenças de rizoctoniose.

2.8 Métodos de controle

2.8.1 Controle genético

Em soja, a resistência genética à *R. solani* tem sido caracterizada como um tipo de resistência quantitativa conferida por vários genes com efeitos aditivos (BRADLEY et al., 2010; ZHAO et al., 2005). Em um programa de melhoramento genético se trabalha em meio a classificação de uma escala (R = Resistente, MR = Moderadamente Resistente, S = Suscetível, MS = Moderadamente Suscetível. A transferência de resistência quantitativa de uma linhagem para uma cultivar elite é muito mais desafiadora do que a resistência qualitativa. Tal fato auxilia no entendimento do porquê a maioria das cultivares de soja são suscetíveis a *R. solani* e, portanto, outros métodos de controle devem ser empregados.

2.8.2 Controle químico

O controle químico de fitopatógenos fúngicos pode ser realizado com o uso de fungicidas, os quais são caracterizados como agentes de origem natural ou sintética, que controlam doenças fúngicas por inibir ou matar o patógeno causador (REIS et al., 2019).

O uso de fungicidas para controle de *R. solani* se restringe ao tratamento de sementes, para o controle do tombamento de plântulas (RAHMAN et al., 2020). Entretanto, devido ao período residual do fungicida ser curto, não protege fases mais avançadas de desenvolvimento da planta. Assim, outros métodos de controle devem ser usados para garantir bom estabelecimento das plantas (DORRANCE et al., 2007).

Em um trabalho realizado no Canadá, em condições de campo com e sem inoculação de *R. solani*, e tratamento de sementes com diferentes combinações de fungicidas sintéticos e biológicos, para controle de podridão radicular em soja, foi constatado que nenhum dos tratamentos de sementes aumentou de forma expressiva a emergência e rendimento, em todos os ensaios, em comparação com o controle, o que comprova que o controle químico apenas ao tratamento de sementes não pode ser utilizado como única estratégia, mas deve estar associado a outros métodos de controle (XUE et al., 2007).

2.8.3 Controle biológico

Em estudo realizado por Sallam et al. (2021), foram isolados dez fungos endofíticos de plantas de soja. Destes três espécies de *Trichoderma*, que apresentaram elevada atividade antagônica contra *R. solani*. Outro mecanismo que vem sendo relatado é o uso de *Rhizoctonia* binucleado, em trabalho feito por Khan & Nelson (2005), foi observado que nove isolados de *Rhizoctonia* binucleado foram selecionados para controle de *R. solani*, oito destes nove isolados quando em combinação com *R. solani* aumentaram a emergência e sobrevivência da soja. Trabalhos recentes relataram controle relativamente satisfatório com uso de fungos endofíticos, estes conseguem viver nos tecidos vegetais da planta sem causar nenhuma doença (ABO-ELYOUSR et al., 2014). Além disso, podem estimular o sistema de defesa da planta (SURYANARAYANAN et al., 2012).

O controle biológico é uma das ferramentas que tem maior potencial no controle de patógenos de solo como é o caso de *R. solani*, tornando-se necessários estudos a nível de campo.

2.8.4 Controle cultural

O controle cultural de doenças de plantas pode ser definido como qualquer prática de manipulação ou manejo da cultura e ambiente de forma a favorecer o hospedeiro sobre o patógeno (AGRIOS, 2005). As práticas podem contribuir para *i*) limitar ou eliminar a presença, proliferação e atividade do patógeno, ou *ii*) reduzir da quantidade de inóculo inicial ou taxa de desenvolvimento da doença (BEDENDO et al., 2011).

Diversas práticas podem ser utilizadas no controle de doenças de plantas como: rotação de culturas, vazio sanitário, “roguing” com eliminação de plantas vivas doentes, eliminação de restos de cultura, inundação, incorporação de matéria orgânica no solo, limpeza de máquinas e equipamentos agrícolas, barreiras físicas ou mecânicas, época de semeadura e colheita, densidade de semeadura, irrigação, adubação e calagem, entre outros (BEDENDO et al., 2011).

Entretanto, a eficácia do controle cultural dependerá de características intrínsecas ao patógeno. No caso de *R. solani*, o qual é um patógeno necrotrófico, que sobrevive no solo por período prolongado, e apresenta ampla gama de plantas hospedeiras, o vazio sanitário e a rotação de culturas, não são práticas eficazes para controle da doença (REIS et al., 2011). Desta forma, outras práticas de manejo devem ser exploradas.

2.9 Efeito da calagem em doenças de plantas

Dentre as práticas de manejo, comumente, utilizadas pelos produtores agrícolas, a calagem causa grande efeito na disponibilidade de nutrientes do solo, o que pode contribuir para a supressão de doença em plantas, além de modificar as condições de acidez, o que também afeta diretamente na ocorrência de fungos patogênicos.

Murakami (2002) constatou que a calagem diminui o índice da doença de raiz torta, causada por *Plasmodiophora brassicae*. Em relação a solo que não recebeu esse tratamento a densidade de esporos em repouso no solo, no momento da semeadura, também diminuiu. Com o uso de calcário calcítico a redução ficou entre 12 a 29%; enquanto que o calcário dolomítico foi de 20 a 39%, no geral, a redução foi de 17 a 31%.

O calcário é uma importante fonte de cálcio, o qual é um elemento que constitui a parede celular e a lamela média da planta, conferindo estabilidade nas membranas (HUBER, 1980). Assim, o cálcio é um dos elementos que aumenta a resistência das plantas às doenças por ser um constituinte da parede celular e dificultar o processo de infecção por fitopatógenos (HUBER, 1980; SCHUMANN, VASHISTH & SPANN, 2017).

Com níveis baixos de cálcio, o efluxo de açúcares do citoplasma para o apoplasto é aumentado, e diminui a concentração de poligalacturonatos de cálcio os quais são necessários na lamela média, para que ocorra uma estabilidade. Por outro lado fungos e bactérias produzem enzimas pectolíticas extracelulares, como a galacturonase, que dissolve a lamela média (McGUIRE & KELMAN, 1986). Quando o cálcio se faz presente ocorre uma inibição da enzima (MARSCHENER, 1986).

O sul do Brasil apresenta um clima subtropical, a formação dos solos nessa região ocorre em ambiente de alta precipitação pluvial e intemperismo, a partir do mineral basalto. Os principais minerais primários desses solos, como feldspatos e outros aluminossilicatos, são intemperizados, formando, principalmente, caulinita e hidróxidos e óxidos de Al e Fe, entre outros constituintes (YAKUBU & OJANUJA, 2014). Nesse processo ocorre, principalmente, a perda de K, Ca, Mg e Na por lixiviação pronunciada e o Al torna-se o cátion trocável predominante, em solos com pH menor 5,5 (DAHLGREN & WALKER, 1993), o que pode ser constatado pela alta saturação desse cátion na CTC efetiva. As formas trocáveis de Al, quando passam para a solução do solo, acidificam o solo (reação de hidrólise), diminuindo o valor do pH em água. Para as plantas o Al trocável causa uma fitotoxidez, ou seja, extremamente tóxico, sendo o sintoma inicial de sua toxicidade a inibição do crescimento de raiz com lesões na coifa (ECHART & CAVALLI-MOLINA, 2001).

A podridão radicular de *Rhizoctonia*, causada pelo fungo *Rhizoctonia solani*, não ocorrerá necessariamente em solos ácidos, com baixo teor de cálcio, pois para a ocorrência da doença todos os elementos do triângulo da doença são essenciais: hospedeiro, patógeno e ambiente. Portanto, mesmo tendo um ambiente favorável, e a planta de soja como hospedeira, ainda será necessária a presença de inóculo na área (microescleródios).

Como muito bem citado na literatura, o Ca é um dos elementos de maior importância, responsável por conferir resistência às plantas ao ataque de fitopatógenos, de forma que não foram encontrados trabalhos de Ca com *Rhizoctonia* em soja, que comprovem cientificamente a supressão de PRR na cultura da soja, o que justifica a realização deste trabalho.

3 **CAPÍTULO I**

ATRIBUTOS DO SOLO ASSOCIADOS À PODRIDÃO RADICULAR DE RHIZOCTONIA EM SOJA NO SUL DO BRASIL

*Capítulo submetido no formato de artigo científico para a revista *Biology and Fertility of Soils**

3.1 Resumo

A podridão radicular de *Rhizoctonia* (PRR) causa a morte de plantas de soja e é resultante da infecção do fungo *Rhizoctonia solani* Kühn. Essa doença tem ocasionado perdas significativas em produtividade de grão de soja, em solos manejados com plantio direto, e o controle químico e genético é pouco eficaz. Por outro lado, há limitada informação em relação aos fatores edáficos associados a doença, e essa lacuna limita o desenvolvimento de métodos de controle cultural. Com este trabalho, objetivou-se determinar quais atributos físicos, químicos e biológicos do solo se correlacionam com a ocorrência da PRR em soja. Foram selecionados quatro campos com diferentes classes de solo (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb, Nitossolo) com histórico de ocorrência de PRR em soja, no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil. Amostras de solo foram coletadas entre março e junho de 2020, em dois locais de cada campo (dentro e fora da reboleira). Amostras de solo das camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm foram coletadas, para análise dos atributos químicos e físicos; enquanto a análise da população de fungos e bactérias foram efetuadas em amostras coletadas de 0-10 cm. Os resultados de alumínio trocável, acidez potencial (H+Al), saturação por Al na capacidade de troca efetiva do solo e do teor de Cu extraível foram maiores na reboleira, e, em geral, nas camadas mais superficiais, e a análise multivariada indicou associação dessas variáveis com esse local de amostragem de solo. Por outro lado, os atributos mais associados ao local fora da reboleira foram os teores de Mg e Ca trocáveis, e os valores de pH, índice SMP, CTC efetiva e saturação por bases. Não houve associação entre os atributos físicos e os locais de amostragem de solo, embora o teor de argila foi maior na reboleira, e nem das unidades formadoras de colônia de bactérias e fungos. Os atributos de solo que mais se relacionam com a incidência da podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em soja são os de natureza química.

Palavras-chave: 1. *Glycine max.* 2. Física do solo. 3. Química do solo. 4. Pátogenos de solo. 5. *Rhizoctonia solani.*

3.2 Introdução

Várias doenças que acometem as plantas de cultivo agrícola podem ser causadas por fitopatógenos de solo (FOLEY et al., 2013), diminuindo a produtividade dependendo da severidade (CHANG et al., 2017). No Brasil, a incidência de doenças causadas por fitopatógenos de solo em soja tem sido crescente (HUZAR-NOVAKOWISKI et al., 2020), principalmente, a podridão radicular de *Rhizoctonia* causada pelo fungo *Rhizoctonia solani* Kühn (CHANG et al., 2015).

Os sintomas da podridão radicular de *Rhizoctonia*, em plântulas de soja, são caracterizados por lesões necróticas de coloração castanho-avermelhado no epicótilo, enquanto há desenvolvimento retardado do sistema radicial (OMARA et al., 2017; RAHMAN et al., 2020; WHATHER et al., 2001). Em estádios mais avançados de crescimento da soja, os sintomas são caracterizados por lesões deprimidas de coloração marrom-arroxeadas, na região do colo da planta. Esses sintomas resultam de constrictões nos vasos condutores da seiva (xilema e floema). As raízes apresentam estrias avermelhadas, acarretando assim na morte da planta de soja (AMORIN et al., 2016; MICHEREFF, ANDRADE & MENEZES, 2005).

As formas de controle da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja são restritas e não há cultivares com elevado nível de resistência genética (BEN, 2015; BRANDLEY et al., 2001; ZHANG et al., 2013). O controle químico, com fungicidas, se restringe ao tratamento de sementes e proporciona proteção por curto período de tempo (RAHMAN et al., 2020; XUE et al., 2007). O controle biológico ainda é pouco explorado pelos produtores, apesar dos bons resultados com uso de fungos endofíticos, ferramenta importante no controle de patógenos de solo, faltam ainda estudos com detalhamento maior a nível de campo (ABO-ELYOUSER et al., 2014; SALLAM et al., 2021).

Sabe-se que a doença é o resultado da interação entre o patógeno virulento, o hospedeiro suscetível e o ambiente favorável (AGRIOS, 2005). Nesse contexto, estão inseridas as práticas culturais que influenciam o ambiente de crescimento do fungo *Rhizoctonia solani* no solo, e a consequente infecção das raízes das plantas, e que também

influenciam os mecanismos de defesa das plantas. Contudo, pouco se conhece em relação a influência dessas práticas e, principalmente, das condições edáficas e pedológicas no controle da podridão de raiz causada por esse fungo em plantas de soja. Nesse sentido, é importante determinar quais práticas de manejo podem contribuir ao controle da podridão radicular de *Rhizoctonia*, incluindo os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Vários elementos químicos são essenciais para as plantas e podem afetar a tolerância ou a resistência aos fitopatógenos (DORDAS, 2008). Dentre os macronutrientes, destaca-se o cálcio. Esse nutriente acumula na parede celular e age diretamente na membrana plasmática, conferindo estabilidade a essa estrutura celular. Em solos ácidos, como os que predominam em regiões de clima tropical e subtropical, em geral, os teores de cálcio são baixos. Nessas condições, o teor desse elemento na planta também é baixo, e ela fica mais vulnerável às doenças fúngicas (HUBER et al., 2012). Além do cálcio, os fitopatógenos de solo podem ser influenciados por outros atributos químicos, como o pH do solo.

O crescimento de fungos fitopatógenos também varia com os atributos físicos do solo, como a conectividade e a tortuosidade dos espaços porosos ocupados com ar (OTTEN et al., 1999). Solos com maior densidade aparente e com agregados de menor tamanho tem maior volume de microporos (OTTEN et al., 2001) e, conseqüentemente, menor aeração. Essas características da estrutura do solo diminuem a expansão das colônias de fungos (OTTEN et al., 2001). Por outro lado, a população de agentes fitopatogênicos ainda depende da diversidade de microrganismos benéficos do solo. Quando elevada, essa característica biológica do solo tende a manter baixa a atividade desses patógenos (ABAWI & WIDMER, 2000).

A qualidade das características químicas, físicas e biológicas do solo variam com o tipo de solo (condição pedológica) e as práticas de manejo (condição edafológica). Assim, esses fatores também influenciam direta ou indiretamente a população de fitopatógenos (DORAM & ZEISS, 2000; HILL et al., 2000; VAN BRUGGEN & SEMENOV, 2000).

Entre os fatores edáficos que afetam a ocorrência de doenças causadas por *R. solani*, alguns estudos identificaram a importância dos teores de argila, matéria orgânica e de alumínio, e do valor de pH, além da estabilidade de agregados do solo (HARRIES et al., 2020; RODRIGUES et al., 1998). A podridão radicular de *Rhizoctonia* em feijão correlacionou-se negativamente com a saturação por alumínio e o teor de argila, mas a correlação foi positiva com a saturação de bases e com o aumento do valor de pH (RODRIGUES et al., 1998). A importância de fatores abióticos na supressão a *R. solani* também foi confirmado em estudo que conclui que áreas de floresta e de pousio foram as mais supressivas ao patógeno (GHINI & MORANDI, 2006). Contudo, não há trabalhos que estudaram a associação entre a podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja e as características do solo, especialmente de solos ácidos manejados com o plantio direto e calagem, como os do sul do Brasil.

Com este estudo, objetivou-se determinar quais os atributos químicos, físicos e biológicos interferem na ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Os resultados obtidos serão importantes para determinar quais as práticas de manejo que podem contribuir para controle da doença.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Caracterização local do estudo

O trabalho foi conduzido no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil. Soledade apresenta um clima subtropical, com temperaturas amenas estendendo-se desde o início do outono ao final da primavera com invernos extremamente úmidos de elevadas precipitações e frio intenso com temperaturas negativas com frequência, variando de -6 a 25 °C. O verão sofre extrema variação devido aos ventos que sopram do quadrante sul onde a temperatura fica com noites amenas 8 a 12 °C e dias extremamente quentes podendo variar de 25 a 37 °C, com índices pluviométricos variando de regular a baixo. O clima frio no inverno e seco no verão juntamente com a alta altitude do município de 550

a 850 m acima do nível do mar propiciam um ambiente favorável para doenças de rizoctoniose.

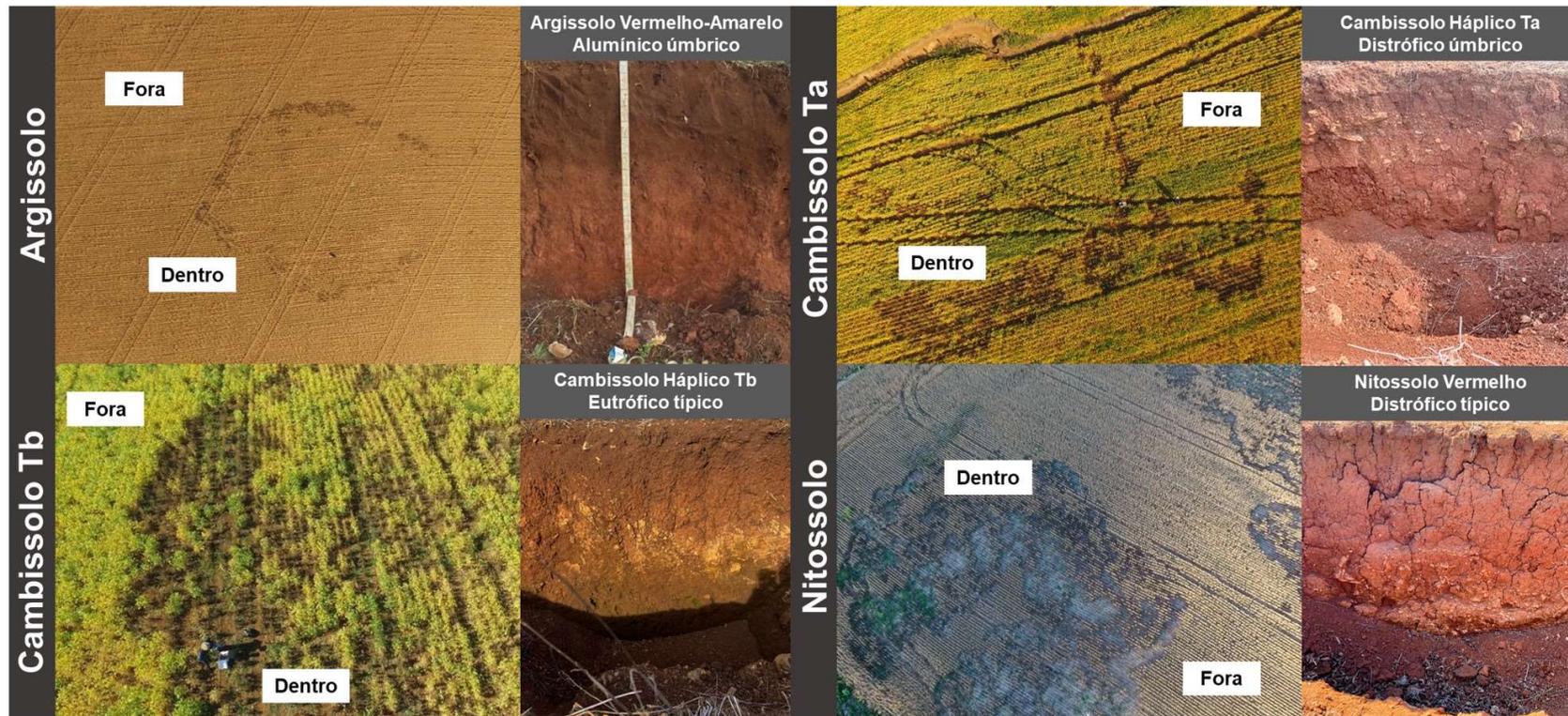
Para o estudo foram escolhidas quatro lavouras de soja (Figura 6), em que se verificou a morte de plantas por podridão radicular de *Rhizoctonia* (PRR) em manchas com forma de reboleiras (Figura 7). Para o Argissolo, Cambissolo Ta e Cambissolo Tb verificou-se incidência desde a safra 2009/2010, e para o Nitossolo desde 2013/2014. É importante salientar que após essa primeira identificação, em todas as safras seguintes foi observada a incidência de PRR, sendo a severidade maior aparente em anos de baixos volumes pluviométricos, com sintomas na cultura da soja no início do estágio reprodutivo.

3.3.2 Classificação dos solos

Trincheiras foram abertas em cada um dos campos para identificação morfológica e classificação dos solos. As trincheiras foram abertas com uma retroescavadeira e apresentaram dimensões de 2 metros de largura e profundidade variando de 1,5 a 3 m. A caracterização morfológica foi realizada com base na metodologia descrita por IBGE (2015), enquanto a identificação das classes de solo foi baseada em Balbinotti (2018), Santos et al. (2013) e Streck et al. (2008).

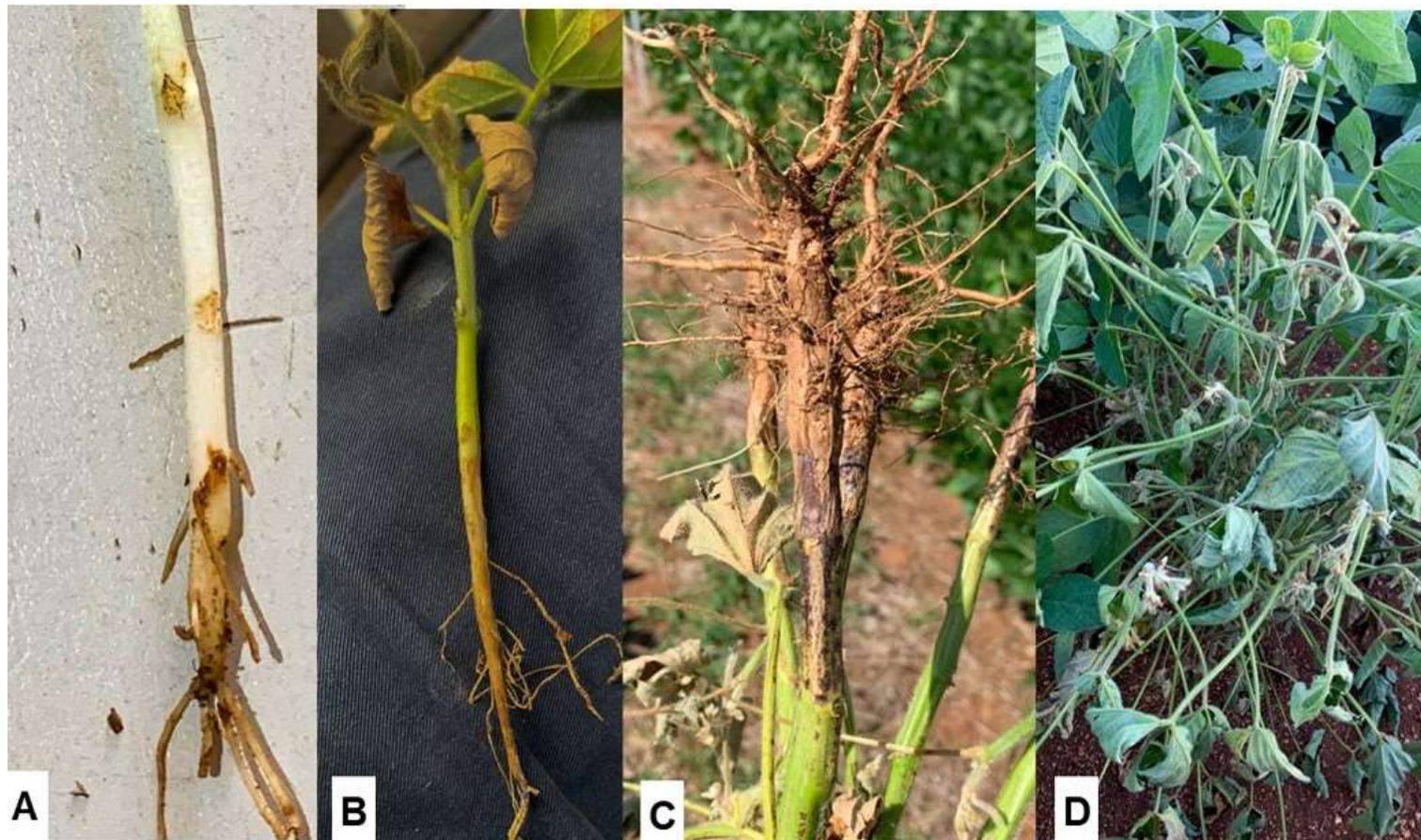
Cada um dos campos apresentou uma classe diferente de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico, Cambissolo Háptico Ta Distrófico úmbrico, Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico, Nitossolo Vermelho Distrófico típico. Informações mais detalhadas de cada campo podem ser encontradas na Tabela 1.

Figura 6 - Aspecto geral dos campos utilizados para o estudo com as suas respectivas classes de solo e com os locais de coleta de solo dentro e fora da reboleira com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja.



Fonte: BALBINOTTI (2020).

Figura 7 - Sintomas de podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em soja. Lesão castanha avermelhada (A), requeima na folha e podridão de raízes (B), lesão arroxeada no colo de plantas de soja (C) e morte de plantas de soja (D).



Fonte: BALBINOTTI (2021).

Tabela 1- Informações do perfil do solo para cada um dos campos selecionados para o estudo

Perfil do solo	Atributo	Unidade	Argissolo	Cambissolo	Cambissolo	Nitossolo
			Vermelho-Amarelo Aluminico úmbrico	Háplico Ta Distrófico úmbrico	Háplico Tb Eutrófico típico	Vermelho Distrófico típico
Perfil Completo	Coordenadas	-	28°45'28.9"S 52°26'20.0"O	28°45'40.1"S 52°26'20.2"O	28°45'34.3"S 52°26'07.0"O	28°45'42.1"S 52°28'38.3"O
	Altitude	m	580	584	586	575
	Clima	-	Subtropical	Subtropical	Subtropical	Subtropical
	Relevo Regional	-	Suave ondulado	Suave ondulado	Suave Ondulado	Suave ondulado
	Relevo Atual	-	Plano	Suave ondulado	Suave ondulado	Plano
	Pedregosidade	-	Não pedregoso	Ligeiramente pedregoso	Ligeiramente pedregoso	Não pedregoso
	Rochosidade	-	Não rochosa	Ligeiramente rochoso	Ligeiramente rochoso	Não rochoso
	Vegetação Primária	-	Campo nativo	Mata nativa	Campo nativo	Campo nativo
	Vegetação Atual	-	Plantas de lavoura	Plantas de lavoura	Plantas de lavoura	Plantas de lavoura
	Drenagem	-	Bem drenado	Moderadamente drenado	Moderadamente drenado	Bem drenado
	Erosão	-	Não aparente	Não aparente	Ligeira aparente	Não aparente
	Primeiro Horizonte	Espessura	cm	75	30	50
Cascalho		-	Pouco cascalhento	Muito cascalhento	Cascalhenta	Pouco Cascalhenta
Cerosidade/Grau		-	Pouca /Fraca	Abundante/Forte	Pouca/Fraca	Abundante/Moderada
Coesão		-	Moderadamente coeso	Fortemente coeso	Fortemente coeso	Fortemente coeso
Matriz Código Munselt*		-	(S) 2,5YR – 3/4 Dark reddish brow (U) 10R 3/1 Dark reddish gray (UA) 10R 2/3 Duskyred	(S) 7.5YR 5/2 Brown (U) 2.5YR 4/2 Weak red (UA) 5YR 4/3 Reddish brown	(S) 10R 3/6 Dark red (U) 7.5R 2.5/1 Reddish black (UA) 5YR 4/2 Dark reddish gray	(S) 10R 5/4 Weak red (U) 10R 5/8 Red (UA) 7.5R 5/8 Red
Estrutura grau		-	Sem agregação	Moderada	Moderada	Forte
Estrutura tamanho		-	Muito pequena, pequena, média	Muito pequena, pequena, média, grande	Muito pequena, pequena, média, grande	Pequena, média, grande
Tipo de Estrutura		-	Granular, grãos simples	Blocos angulares, blocos subangulares, grãos simples	Blocos angulares, blocos subangulares, grãos simples	Granular, blocos angulares, blocos subangulares
Consistência		-	Seca = Solta Úmida = Solta Molhada = Não plástica	Seca = Muito dura Úmida = Firme Molhada = Muito plástica	Seca = Muito dura Úmida = Firme Molhada = Muito plástica	Seca = Extremamente dura Úmida = Macia Molhada = Plástica
Poros/Quantidade		-	Grandes/Abundantes	Médios/Comuns	Pequenos/Abundantes	Médios/Comuns
Textura		-	Franco-Argilosa	FrancoArgilo-siltosa	FrancoArgilo-siltosa	Argila
Transição/Contraste		-	Plana/Gradual	Plana/Abrupta	Irregular/Abrupta	Plana/Gradual
Superfície		-	Compressão = Fosca Quantidade = Pouca Grau = Moderada	Compressão = Fosca Quantidade = Pouca Grau = Fraca	Compressão = Fosca Quantidade = Comum Grau = Moderada	Compressão = Brilhante Quantidade = Abundante Grau = Forte
Areia		%	45	22	20	28
Argila		%	37	40	55	52
Silte	%	18	38	25	20	

	Espeçura	cm	140	120	110	120
	Cascalho	-	Pouco	Muito		
	Cerosidade/Grau		Abundante/Forte	Abundante/Forte	Comum/Moderada	Abundante/Forte
	Coesão		Moderadamente coeso	Moderado coeso	Moderado coeso	Fortemente coeso
	Matriz Código Munselt*	-	(S) 2.5YR – 3/6 Dark red (U) 10R 3/6 Dark red (UA) 10R 4/6 Red	(S) 5YR – 5/2 Reddish brown (U) 2.5YR 4/8 Red (UA) 10R 4/6 Red	(S) 7.5R 7/8 Light red (U) 10R 2.5/2 Very dusky red (UA) 10R 3/4 Dusky red	(S) 10R 7/8 Light red (U) 10R 3/6 Dark red (UA) 10R 5/8 Red
	Estrutura grau	-	Fraca	Fraca	Fraca	Forte
	Estrutura tamanho	-	Pequena, média, muito grande	Pequena, média, grande, muito grande	Pequena, média, grande, muito grande	Média, grande, muito grande
	Tipo de Estrutura	-	Blocos angulares, blocos subangulares	Granular, blocos angulares, blocos subangulares, prismática, colunar	Blocos subangulares, prismática, colunar	Blocos angulares, blocos subangulares, prismática, colunar
	Consistência	-	Seca = Extra dura Úmida = Firme Molhada = Plástica/ Pegajosa	Seca = Muito dura Úmida = Friável Molhada = Plástica/ Muito pegajosa	Seca = Muito dura Úmida = Friável Molhada = Plástica/Muito pegajosa	Seca = Extremamente dura Úmida = Firme Molhada = Muito plástica/Muito pegajosa
Segundo Horizonte	Poros/Quantidade	-	Médios/Abundantes	Médios/Comuns	Grandes/Abundantes	Médios/Comuns
	Textura	-	Muito argilosa	Muito argilosa	Muito argilosa	Muito argilosa
	Transição/Contraste	-	Plana/Abrupta	Ondulada/Clara	Irregular/Gradual	Plana/Clara
	Superfície	-	Compressão = Brillhante Quantidade = Comum Grau = Forte	(apresenta FRICÇÃO) Compressão = Brillhante Quantidade = Abundante Grau = Forte	Compressão = Brillhante Quantidade = Comum Grau = Moderada	Compressão = Brillhante Quantidade = Abundante Grau = Forte
	Areia	%	20	7	6	120
Argila	%	67	76	74	65	
Silte	%	13	17	20	17	

*S: Seca; U: Úmida; UA: Úmida amassada.

*Caracterização morfológica IBGE (2015).

*Caracterização das classes de solo, e análises química do horizonte diagnóstico subsuperficial extraídos do: Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia-Universidade de Passo Fundo. BALBINOTTI (2018).

3.3.3 Local de amostragem

Em cada campo foram selecionados dois locais sendo identificados como *i*) dentro e *ii*) fora da reboleira. As reboleiras são caracterizadas como porções menores dentro de um montante maior em formato de circunferência onde plantas de soja morrem devido a podridão radicular de *Rhizoctonia* (Figura 6). As áreas a serem amostradas foram demarcadas em março de 2020 quando ainda a cultura da soja estava sendo cultivada nos campos. Em cada local no campo foram determinados quatro pontos de amostragem considerados como repetições para análise estatística dos dados.

3.3.4 Caracterização química do solo

As amostras para análise química do solo foram coletadas com uma pá de corte de forma estratificada em quatro camadas (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm) e apresentaram estrutura deformada. Em cada ponto de amostragem cinco subamostras foram coletadas para compor uma amostra. Para a amostragem dentro da reboleira foi utilizado o seguinte critério: duas coletas foram efetuadas na linha de semeadura com plantas mortas de soja, uma coleta na linha de semeadura com plantas ainda vivas e duas coletas na entrelinha de semeadura. Entretanto, fora da reboleira três coletas foram realizadas na linha de semeadura e duas coletas na entrelinha. Assim, no total 128 amostras foram obtidas (4 campos x 2 locais x 4 profundidades x 4 repetições). A amostragem foi realizada nos meses de maio a junho de 2020.

Após a coleta, as subamostras de solo foram homogeneizadas em recipiente de plástico para compor uma amostra que foi acondicionada em saco plástico previamente identificado. Em seguida, as amostras de solo foram secas em temperatura ambiente por 30 dias. As amostras moídas e peneiradas foram utilizadas para análise química seguindo metodologias previamente descritas (TEDESCO et al., 1995; TOLEDO et al., 2012; WALKLEY & BLACK, 1934). Dezoito variáveis químicas foram consideradas para análise estatística (Figura 8).

Figura 8 - Variáveis químicas, físicas e microbiológicas avaliadas no estudo.

QUÍMICA		Variáveis	Descrição	Unidade
		pH	pH	-
		SMP	SMP	-
		P	Fósforo	mg dm ⁻³
		K	Potássio	mg dm ⁻³
		MO	Matéria orgânica	%
		Al	Alumínio	cmol _c dm ⁻³
		Ca	Cálcio	cmol _c dm ⁻³
		Mg	Magnésio	cmol _c dm ⁻³
		Ca/Mg	Relação cálcio/magnésio	-
		H+Al	Hidrogênio + Alumínio	cmol _c dm ⁻³
		CTC	CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³
		SB	Saturação por bases	%
		SAL	Saturação por alumínio	%
		Zn	Zinco	mg dm ⁻³
Cu	Cobre	mg dm ⁻³		
Mn	Manganês	mg dm ⁻³		
B	Boro	mg dm ⁻³		
S	Enxofre	mg dm ⁻³		

FÍSICA		Variáveis	Descrição	Unidade
		ARG	Argila	%
		SIL	Silte	%
		ARE	Areia	%
		DS	Densidade dos sólidos	g cm ⁻³
		DSM	Densidade média do solo	g cm ⁻³
		DSMAX	Densidade máxima do solo	g cm ⁻³
		DREL	Densidade relativa do solo	g cm ⁻³
		PT	Porosidade total	m ³ m ⁻³
		UGCC	Umidade gravimétrica na capacidade de campo	g g ⁻¹
		UVCC	Umidade volumétrica na capacidade de campo	m ³ m ⁻³
		UGPMP	Umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente	g g ⁻¹
		UVPMP	Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente	m ³ m ⁻³
		MACRO	Macroporos	m ³ m ⁻³
		MICRO	Microporos	m ³ m ⁻³
		CRIP	Criptoporos	m ³ m ⁻³
		ARM	Armazenagem de água	mm

MICROBIO LÓGICA		Variáveis	Descrição	Unidade
		FUN	Fungos	UFC/g solo
		BAC	Bactérias	UFC/g solo

Fonte: BALBINOTTI (2020-2021).

3.3.5 Caracterização física do solo

As amostras de solo para caracterização física apresentaram estrutura indeformada e foram coletadas em quatro camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm). No total, 128 amostras foram obtidas (4 campos x 2 locais x 4 profundidades x 4 repetições). A amostragem foi realizada em junho de 2020.

Cilindros de aço inoxidável com volume de 100 cm³ foram utilizados para a coleta das amostras de solo (Figura 8). O método do cilindro volumétrico foi utilizado para análise física das amostras. Os cilindros de aço inoxidável foram acoplados a um trado extrator de cilindros do tipo 'Umland'. Uma pequena trincheira foi aberta no campo no formato de "escadinha" (Figura 8). Os cilindros foram retirados do trado e as extremidades foram fechadas com tampa de plástico.

Após a coleta, os cilindros foram saturados por 48 horas em bandeja com água e, posteriormente, foram transferidos para um funil com placa porosa e pressão de 60 kPa por 72 horas. Os cilindros foram retirados e secos em estufa a 105 °C por 24 horas. Seguindo a metodologia apresentada por Klein (2014) foram determinadas as seguintes variáveis: densidade média (DS), densidade máxima (DSMAX), densidade relativa (DSREL), porosidade total (PT), umidade gravimétrica na capacidade de campo (UGCC), umidade volumétrica na capacidade de campo (UVCC), umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (UGPMP), umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (UVPMP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), crioporos (CRIP) e armazenagem de água (ARM).

Uma fração das amostras de solo coletadas para caracterização química foi utilizada para determinação da estrutura granulométrica do solo pelo método da pipeta. Assim, foram determinadas as porcentagens de argila, areia e silte. Por fim, a densidade dos sólidos do solo (DS) foi obtida pelo método dos balões volumétricos. As determinações foram realizadas com base na metodologia descrita por Embrapa (1997).

3.3.6 Análise microbiológica do solo

A coleta de amostras de solo para análise microbiológica foi realizada com pá de corte na camada de 0 - 10 cm. Para facilitar a coleta, uma pequena trincheira foi aberta e materiais indesejados como restos culturais e pedras foram retiradas da amostra mantendo apenas solo. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e permaneceram em uma caixa de isopor com gelo até finalizar a coleta no campo. Em seguida, as amostras foram mantidas em geladeira com temperatura de aproximadamente 4 °C até a análise.

A análise microbiológica foi realizada com a determinação do número de unidades formadoras de colônia (UFC) de fungos e bactérias por grama de solo seco (DIONÍSIO et al. 2016). A análise foi realizada em triplicata para cada amostra de solo.

Para determinação, 10 gramas de solo foram pesadas e transferidas para um erlenmeyer de 250 mL contendo 90 mL (diluição 10^{-1}) de água destilada e esterilizada. Em seguida, as amostras foram agitadas por 45 minutos em agitador orbital a temperatura ambiente. Para quantificação das colônias de fungos e bactérias foi utilizada a técnica de diluição seriada com espalhamento na superfície do meio de cultura (NEDER, 1992). Após agitação das amostras, uma alíquota de 1 mL foi transferida para um tubo de ensaio estéril contendo 9 mL de água destilada e esterilizada (diluição 10^{-2}). A amostra foi homogeneizada em agitador do tipo vórtex. Esse procedimento foi repetido até a diluição 10^{-4} .

A quantificação de colônias de fungo foi realizada em meio de cultura de Martin e de bactérias em meio de cultura 523 de Kado & Heskett (DIONÍSIO et al. 2016). Para fungos foram plaqueadas as diluições 10^{-1} e 10^{-2} enquanto para bactérias foi plaqueadas as diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . Após agitação das amostras em agitador do tipo vórtex, 100 µL da amostra foi pipetada no centro da placa de Petri e com auxílio de uma alça de Drigalski foi realizada o espalhamento na superfície do meio de cultura. As placas permaneceram na câmara de fluxo laminar até secagem. Em seguida, as placas de Petri foram incubadas em câmara de crescimento a 25 °C com fotoperíodo de 12 horas. A

contagem de UFC de bactérias ocorreu 48 horas após a incubação e para fungos 96 horas após a incubação (LEAL et al., 2021).

Uma amostra de 10 g de solo de cada amostra foi mantida em estufa a 50 °C para secagem. Após secagem, a amostra foi pesada em balança de precisão (0,001 g). O número de UFC por grama de solo foi obtido por meio da fórmula (DIONISIO et al, 2016): UFC por grama de solo = média das contagens x diluição seriada x 10. Os resultados foram expressos na escala logarítmica.

3.3.7 Avaliação de incidência da doença e produtividade da soja

A avaliação de incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* foi efetuada ao longo do ciclo da cultura e a incidência (%) final foi considerada para análise. No estágio de maturação plena (R8), contabilizando 104 dias após semeadura, se fez a colheita das unidades experimentais sendo considerada a terceira e quarta linha de semeadura. Feita de forma manual a colheita e plantas trilhadas em batetor (Nogueira BC80) acoplado na tomada de potência de um trator agrícola com rotor-axial com rotação de 800 rpm, fazendo a debulha e posterior separação pelas peneiras. Após, os grãos colhidos foram pesados e a umidade determinada em porcentagem com auxílio de um medidor Multigrain. A umidade dos grãos foi corrigida para 13% e os valores de produtividade foram convertidos para kg ha⁻¹.

3.3.8 Análise estatística

Uma análise preliminar dos dados foi realizada com base em gráficos de caixa e histogramas para identificar a presença de valores discrepantes e a distribuição dos dados, respectivamente. Em seguida, modelos lineares mistos foram utilizados para analisar os dados onde local no campo, profundidade de coleta e sua interação foram considerados como efeitos fixos, ao passo que, repetição aninhada dentro de local no campo foi estabelecida como efeito aleatório. Os dados de campo foram analisados separadamente. As médias ajustadas (*lsmeans*) foram obtidas e comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de nível de significância. A função '*lmer*' do pacote '*lme4*' foi utilizada para análise

com modelos mistos, enquanto as médias ajustadas foram obtidas com o pacote ‘*lsmeans*’ por meio do software RStudio versão 2021.09.0 (R CORE TEAM, 2021).

O teste t com amostras independentes foi utilizado para comparação dos locais dentro e fora da reboleira para os dados de UFC de bactérias, UFC de fungos, incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* e produtividade de soja. A análise foi realizada para cada campo separadamente e considerando nível de significância de 5% de probabilidade.

Com base nos resultados das análises univariadas dos atributos físicos e químicos do solo que indicaram maiores diferenças entre os locais no campo nas camadas mais superficiais do solo, a análise de componentes principais (ACP) foi realizada com os dados médios das camadas 0-5 e 5-10 cm. A ACP foi realizada após padronização dos atributos com média 0 e variância 1 (HAIR et al., 2005). Para apresentação dos dados foram considerados apenas os componentes principais com autovalores maiores que 1 de acordo com o critério de Kaiser (1958), uma vez que os demais não possuem informações relevantes. A ACP foi realizada com o pacote ‘*factoextra*’ no software RStudio versão 2021.09.0 (R CORE TEAM, 2021).

3.4 Resultados

3.4.1 Análise química - Argissolo

Com base nos resultados da análise de variância para o Argissolo (Tabela 2), o local no campo apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) para SMP, K, Mg, Cu, matéria orgânica e saturação por bases. Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) da profundidade de coleta sobre todas as variáveis com exceção de B e Cu. A interação de local no campo x profundidade, por sua vez, afetou significativamente ($p \leq 0,05$) as variáveis pH, SMP, Ca, Mg, Mn, CTC_{efetiva} e saturação por bases.

Dentro da reboleira foi verificado menor pH, SMP, Mg, Ca, CTC_{efetiva} e saturação por bases na camada de 0-5 cm de profundidade (Figura 9). Além disso, houve maior teor de matéria orgânica e menor teor de Mg dentro da reboleira na camada de 5-10 cm.

O teor de Cu foi maior dentro da reboleira em todas as profundidades de coleta de solo, ao passo que o teor de Mn foi maior dentro da reboleira na camada de 0-5 cm apenas.

O pH, SMP, Ca, Mg, relação Ca/Mg, S, Zn, matéria orgânica, saturação por bases, CTC efetiva reduziram com o aumento da profundidade de coleta do solo dentro e fora da reboleira (Figura 9). Entretanto, houve acréscimo no teor de Al, H+Al, saturação por Al à medida que a profundidade de coleta aumentou tanto dentro como fora da reboleira. O B não apresentou diferença significativa entre as profundidades de coleta do solo. (Figura 9).

3.4.2 Análise química - Cambissolo Ta

Os resultados da análise de variância indicaram que no campo com Cambissolo Ta houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do local no campo para Ca, Ca/Mg, CTC_{efetiva} e Cu (Tabela 2). A profundidade de coleta do solo afetou significativamente ($p \leq 0,05$) todas as variáveis com exceção do S, Zn, Mn e B. A interação entre local no campo x profundidade de coleta apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre o teor de matéria orgânica, Ca, Mg e CTC_{efetiva}.

O teor de Ca e a CTC_{efetiva} foram menores dentro da reboleira nas camadas 5-10 e 10-15 cm (Figura 10). A relação Ca/Mg também foi inferior dentro da reboleira as camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Entretanto, teor de Cu foi superior dentro em relação ao local fora da reboleira na camada 15-20 cm, enquanto o teor de K foi inferior dentro da reboleira.

Ao longo do perfil do solo houve redução do pH, SMP, Mg, Ca, relação Ca/Mg, saturação por bases, matéria orgânica e CTC_{efetiva} tanto dentro quanto fora da reboleira (Figura 9). No entanto, ocorreu aumento no teor de Al e conseqüentemente na saturação por Al e H+Al. Os teores de S, B, Cu, Mn e Zn não apresentaram diferença significativa entre as camadas de solo (Figura 10).

3.4.3 Análise química - Cambissolo Tb

Para o Cambissolo Tb, o local no campo apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre pH, SMP, Mg, relação Ca/Mg, H+Al, CTC_{efetiva}, Mn, B, Cu e saturação por bases (Tabela 2). A profundidade de coleta do solo afetou significativamente ($p \leq 0,05$) todas as variáveis com exceção de P, S, B e Cu. A interação entre local no campo x profundidade de coleta interferiu no teor de CTC_{efetiva}, Ca e Zn.

O pH, SMP, matéria orgânica, Ca, Mg, Mn, CTC_{efetiva} e saturação por bases foram inferiores dentro da reboleira comparado com o local fora da reboleira na camada de 0-5 cm. Além disso, SMP, Zn, Mg e Mn foram menores dentro da reboleira na camada 5-10 cm. A saturação por bases, Mg e Mn foram inferiores dentro da reboleira na camada de 10-15 cm enquanto o H+Al foi superior. O teor de B foi superior dentro da reboleira nas camadas 0-5 e 5-10 cm, ao passo que o teor de Cu foi maior dentro da reboleira para todas as profundidades de coleta do solo (Figura 11).

3.4.4 Análise química - Nitossolo

Os resultados da análise de variância (Tabela 2) do campo com Nitossolo indicaram efeito significativo ($p \leq 0,05$) do local no campo, profundidade de coleta e interação sobre pH, SMP, Al, Ca, Mg, CTC_{efetiva}, matéria orgânica e saturação por alumínio. A profundidade de coleta do solo também afetou significativamente a relação Ca/Mg, saturação por bases, Mn e B. O local no campo apresentou efeito sobre H+Al, saturação por bases e Cu. A interação entre local no campo e profundidade de coleta afetou a relação Ca/Mg e teor de Mn. Os teores de P, K, S, e Zn não foram afetados por nenhum dos fatores de variação.

Para o Nitossolo não houve efeito de nenhum dos fatores de variação sobre o teor de Zn, K, P e Cu (Figura 12). Entretanto, foi verificado menor pH, SMP, Ca, Mg, matéria orgânica e saturação por bases e CTC_{efetiva} dentro da reboleira para as camadas 0-5 e 5-10 cm. Além disso, houve redução no pH, SMP, Ca, Mg, saturação por bases, matéria orgânica e CTC_{efetiva} com o aumento da profundidade de solo para ambos os locais no campo. Todavia, o teor de Al, H+Al e a saturação por Al aumentaram de acordo com o acréscimo da profundidade do solo (Figura 12).

Tabela 2- Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos químicos do solo de quatro campos. As amostras de solo foram coletadas em dois locais em cada campo dentro e fora da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja.

Fator de variação	GL	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Ca/Mg	H+Al	CTC _{efetiva}	S	SAI	SB	Zn	Mn	B	Cu
<i>Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico úmbrico</i>																			
Local no campo (L)	1	0,06	0,01	0,77	0,04	0,05	0,24	0,22	0,01	0,54	0,11	0,24	0,10	0,66	0,03	0,62	0,52	0,35	0,01
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	0,00	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	0,15
L x P	3	0,00	0,03	0,73	0,47	0,43	0,43	0,01	<0,001	0,92	0,73	0,02	0,96	0,18	0,01	0,80	<0,01	0,72	0,08
<i>Cambissolo Háptico Ta Distrófico úmbrico</i>																			
Local no campo (L)	1	0,26	0,52	0,92	0,29	0,19	0,52	0,01	0,26	<0,01	0,50	0,02	0,28	0,31	0,22	0,32	0,38	0,32	0,01
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	0,02	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,32	<0,01	<0,01	0,17	0,37	0,19	0,25
L x P	3	0,32	0,93	0,83	0,05	0,01	0,69	0,01	0,01	0,86	0,97	<0,01	0,92	0,51	0,56	0,53	0,57	0,51	0,37
<i>Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico</i>																			
Local no campo (L)	1	0,03	0,01	0,59	0,34	0,87	0,09	0,15	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,18	0,18	0,01	0,18	<0,01	<0,01	<0,01
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	0,13	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,59	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,87	0,18
L x P	3	0,48	0,57	0,14	0,36	0,10	0,83	0,05	0,05	0,25	0,88	<0,01	0,34	0,76	0,49	0,03	0,05	0,13	0,34
<i>Nitossolo Vermelho Ditrófico típico</i>																			
Local no campo (L)	1	0,01	0,05	0,15	0,51	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,03	<0,01	0,93	<0,01	0,00	0,08	0,09	0,41	0,00
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	0,14	0,45	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	<0,01	<0,01	0,52	0,01	0,01	0,29
L x P	3	0,05	0,19	0,38	0,27	<0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,46	0,00	0,92	0,00	0,05	0,50	0,00	0,56	0,24

GL: graus de liberdade; P: fósforo; K: potássio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Ca/Mg: relação Ca/Mg; CTC: capacidade de troca catiônica; S: enxofre; SAI: saturação por alumínio; SB: saturação por bases; Zn: zinco; Mn: manganês; B: boro; Cu: cobre.

Figura 9 - Atributos químicos de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico) coletado em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.

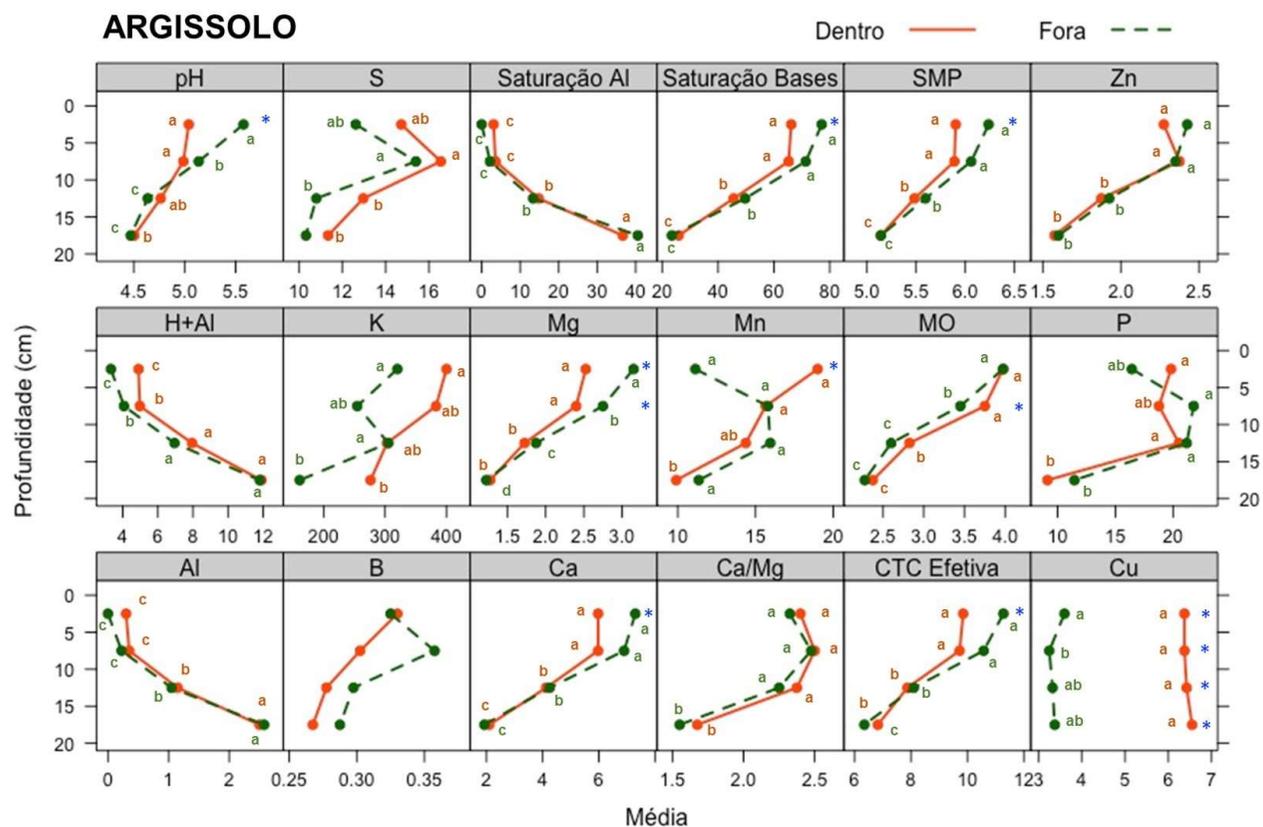


Figura 10 - Atributos químicos de solo (Cambissolo Háplico Ta Distrófico úmbrico) coletado em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.

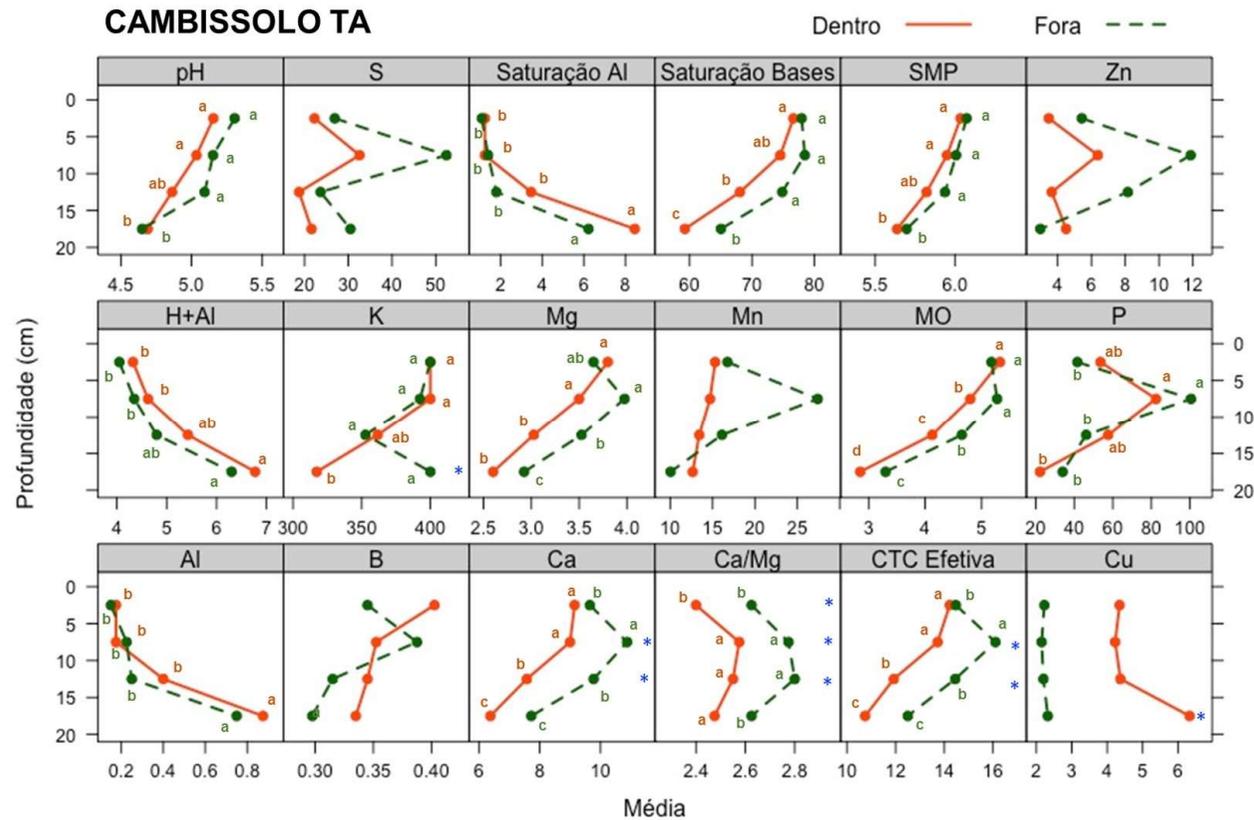


Figura 11 - Atributos químicos de solo (Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico) coletado em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.

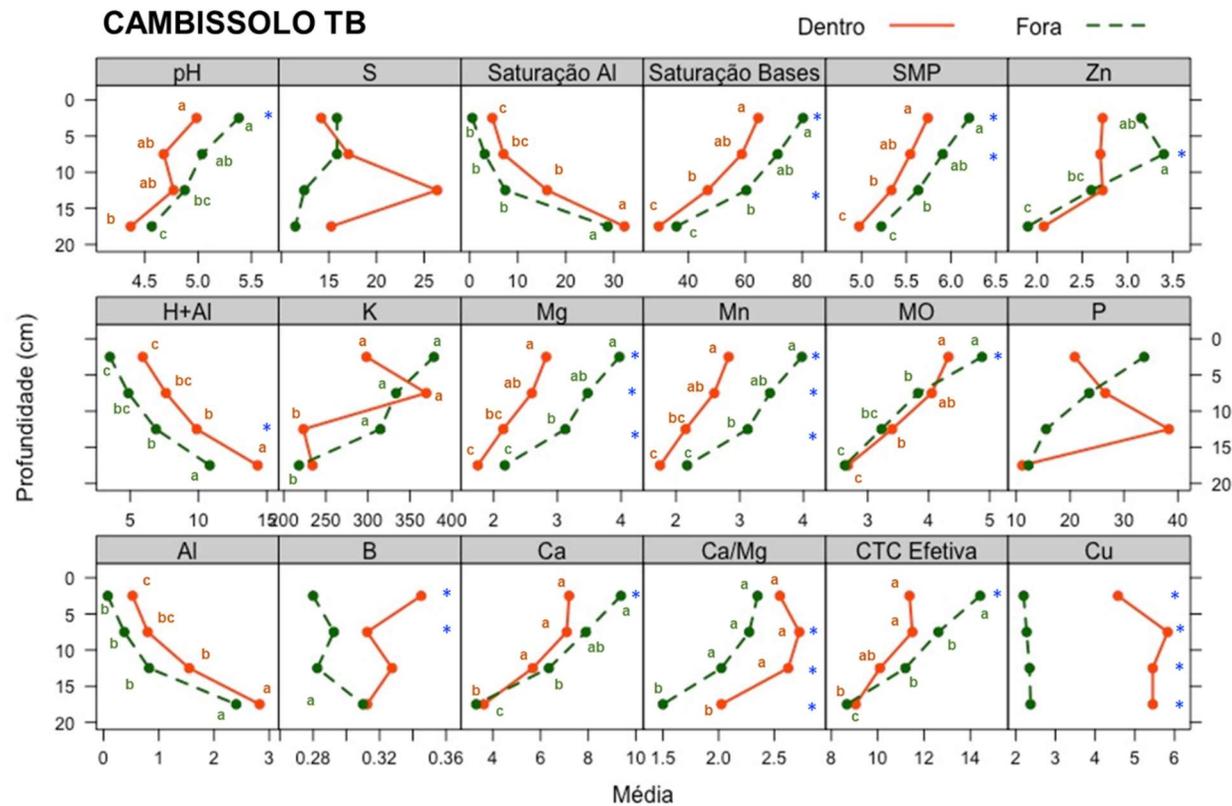
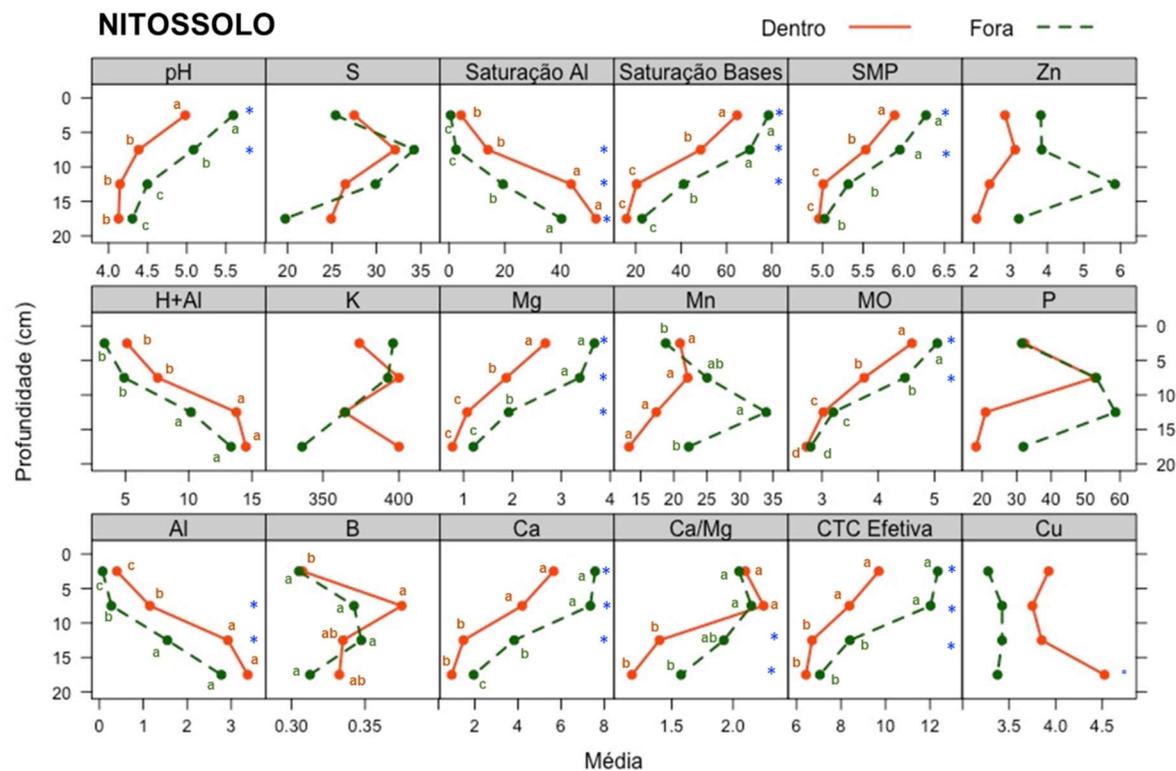


Figura 12 - Atributos químicos de solo (Nitossolo Vermelho Distrófico típico) coletado em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.



3.4.5 Análise química - ACP

Para os atributos químicos do solo foram gerados quatro componentes principais, com autovalores superiores a 1 e que representam 83,41% da variância total dos dados (Tabela 3). Os CP1 e CP2 foram responsáveis por 47,2% e 19,5% da variação dos dados (Figura 13).

Houve um agrupamento distinto dos atributos químicos do solo de acordo com local no campo quando o CP1 e CP2 foram plotados (Figura 13). As variáveis que apresentaram maior contribuição no CP1 foram saturação por bases, teor de Mg, H+Al e saturação por Al com 10,7%, 10,1%, 8,2% e 8,1%, respectivamente. As variáveis com maior contribuição no CP2 foram teor de Mn, matéria orgânica, K e Mg com 9,9%, 9,5%, 8,7% e 7,0%, respectivamente. As variáveis mais correlacionadas com o local dentro da reboleira foram Al, H+Al, saturação por Al e teor de Cu. Todavia, as variáveis com maior correlação no local fora da reboleira foram Mg, Ca, pH, SMP, CTC_{efetiva} e saturação por bases.

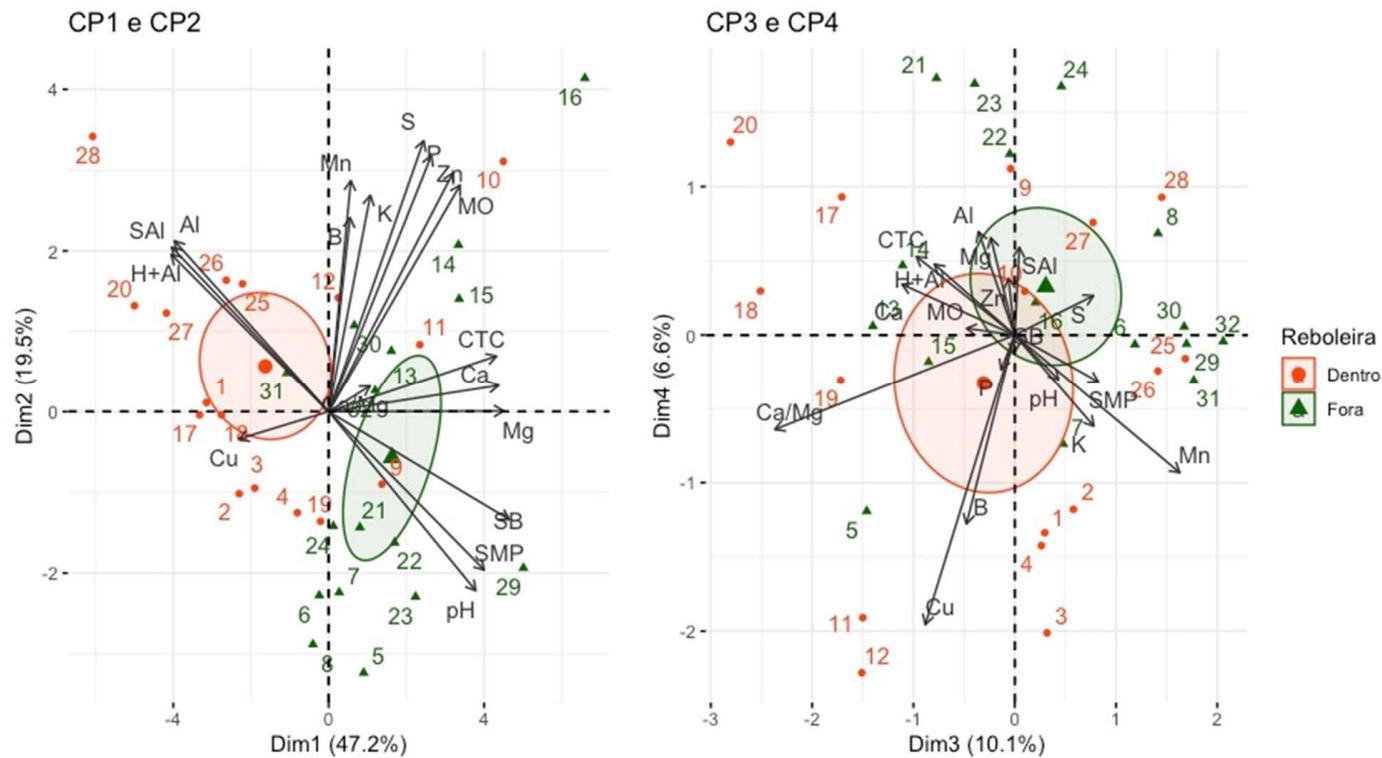
Os CP3 e CP4 apresentaram variância de 10,1% e 6,6%, respectivamente (Tabela 3). As variáveis com maior contribuição no CP3 foram Al, Ca e CTC com 8,8%, 8,5% e 6,5%, respectivamente (Figura 12). No entanto, para o CP4 as variáveis que apresentaram maior contribuição foram o teor de Cu e B com 40,3% e 17,2%, respectivamente. Houve sobreposição das elipses correspondentes aos locais no campo dentro e fora da reboleira (Figura 13). Apesar disso, verificou-se que o teor de Cu, B e a relação Ca/Mg foram as variáveis mais correlacionadas dentro da reboleira.

Tabela 3- Autovalores, variância (%) e variância acumulada (%) para cada componente principal gerado na análise dos dados de atributos químicos do solo dentro e fora da reboleira com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja

Componente Principal (CP) ^a	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	8,49	47,21	47,21
CP2	3,51	19,50	66,71
CP3	1,82	10,12	76,83
CP4	1,18	6,58	83,41
CP5	0,924	5,13	88,54
CP6	0,648	3,60	92,14
CP7	0,427	2,37	94,51
CP8	0,381	2,12	96,63
CP9	0,255	1,41	98,04
CP10	0,137	0,76	98,80
CP11	0,119	0,62	99,42
CP12	0,056	0,31	99,73
CP13	0,033	0,18	99,91
CP14	0,006	0,04	99,95
CP15	0,003	0,02	99,97
CP16	0,001	0,01	99,98
CP17	0,0005	0,01	99,99
CP18	0,00006	0,01	100,00

^a A análise de componentes principais foi realizada com a média das camadas 0-5 e 5-10 cm para cada repetição e local no campo.

Figura 13 - Biplot dos componentes principais: CP1 e CP2 (à esquerda) e CP3 e CP4 (à direita). As setas indicam os atributos da análise química do solo e as elipses indicam o agrupamento dos locais no campo dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. P: fósforo; K: potássio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Ca/Mg: relação Ca/Mg; CTC: capacidade de troca catiônica efetiva; S: enxofre; SAl: saturação por alumínio; SB: saturação por bases; Zn: zinco; Mn: manganês; B: boro; Cu: cobre.



3.4.6 Análise física - Argissolo

Com base nos resultados da análise física do solo no campo com Argissolo (Tabela 4), foi verificado efeito significativo ($p \leq 0,05$) do local no campo sobre o teor de argila, areia, DSM e DSMAX. A profundidade de coleta afetou todos os atributos físicos do solo. Entretanto, ocorreu interação significativa entre local no campo x profundidade de coleta para DMS, DREL, UVCC, MICRO e ARM.

Dentro da reboleira houve maior teor de argila do que fora da reboleira em todas as profundidades de coleta do solo (Figura 14). Na camada de 0-5 cm o local dentro da reboleira apresentou menor UVCC, DSMAX, MICRO e ARM. Entretanto, na camada 5-10 cm houve maior MICRO e menor DSM e DREL dentro da reboleira do que fora.

Houve incremento na UGPMP, UVPMP, DSM, ARG, CRIP, DREL e DS com o aumento da profundidade de coleta tanto dentro como fora da reboleira (Figura 14). Todavia, ocorreu redução na DSMAX, MACRO e PT em camadas mais profundas comparado com camadas mais superficiais do solo. Fora da reboleira não houve diferença na UVCC, MICRO e ARM entre as camadas do solo, ao passo que dentro da reboleira ocorreu redução destas variáveis nas camadas mais profundas do solo comparado com 0-5 cm. (Figura 14).

3.4.7 Análise física - Cambissolo Ta

Para o Cambissolo Ta, o local no campo afetou significativamente ($p \leq 0,05$) o teor de argila, silte, areia, DSM, DSMAX, DREL, UGPMP, UVMPM e CRIP (Tabela 4). A profundidade de coleta influenciou todos os atributos físicos com exceção de UVCC e ARM. A interação entre local no campo x profundidade de coleta, por sua vez, afetou a DSM e DREL.

Dentro da reboleira ocorreu maior UGPMP, DSMAX, e Argila nas camadas 0-5, 5-10 e 15-20 cm. Além disso, houve maior DSM e DREL dentro da reboleira do que fora em todas as profundidades de coleta. O teor de areia foi menor dentro da reboleira do que

fora na camada de 0-5 cm ao passo que o teor de silte foi menor dentro da reboleira nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

Houve redução na UGCC, MACRO, PT, silte, areia, com o aumento da profundidade de coleta em ambos os locais no campo (dentro e fora da reboleira). No entanto, ocorreu aumento na UGPMP, UVPMP, DSM, Argila, CRIP, DREL e DS à medida que aumento a profundidade de coleta do solo tanto dentro como fora da reboleira. (Figura 15).

3.4.8 Análise física - Cambissolo Tb

Os atributos físicos do Cambissolo Tb que apresentaram efeito significativo do local no campo foram argila, silte, areia, DSM, DSMAX, DREL, UVCC, UGPMP, MICRO e ARM (Tabela 4). A profundidade de coleta afetou todas os atributos físicos com exceção da UGCC. A interação entre local no campo x profundidade de coleta influenciou o teor de argila, areia, DSM, DREL, UVC, MACRO, MICRO, CRIP e ARM.

A UVCC, DSM, MICRO, e ARM foram menores dentro da reboleira do que fora na camada de 0-5 cm, enquanto foram superiores nas camadas de 5-10 e 10-15 cm. O teor de argila foi maior e de areia menor dentro da reboleira de 0-5, 5-10 e 10-15 cm (Figura 16).

3.4.9 Análise física - Nitossolo

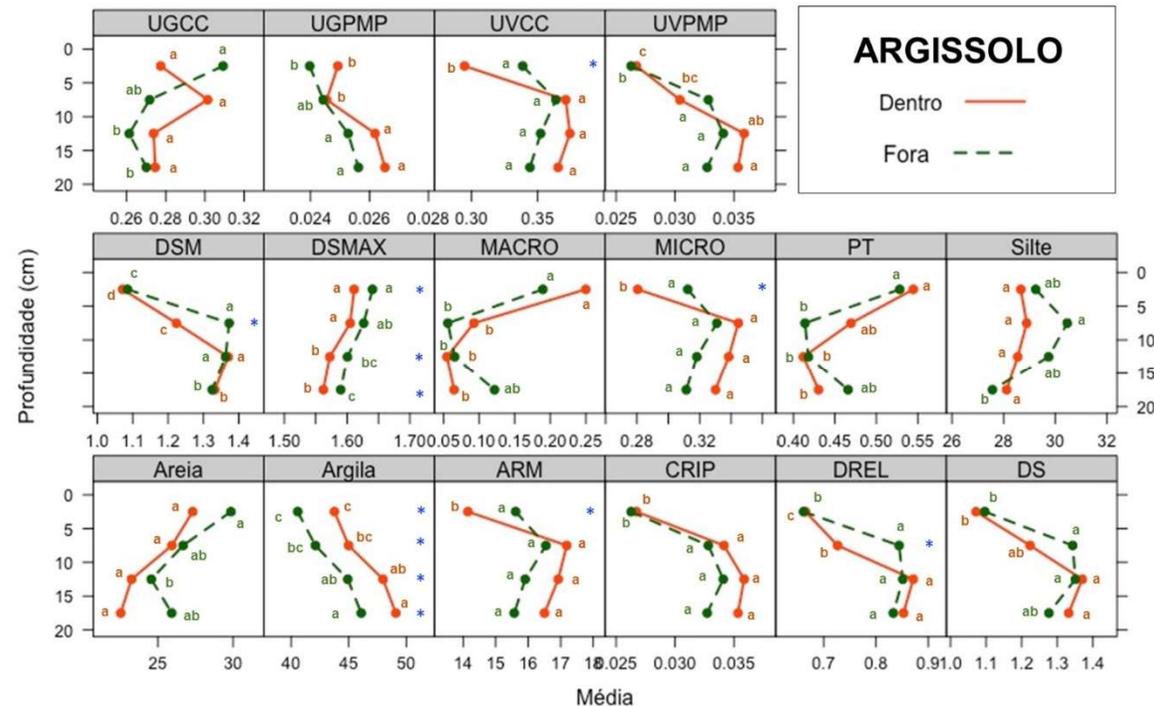
O teor de silte, areia e DSM apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$) do local no campo (Tabela 4). A profundidade de coleta, entretanto, influenciou significativamente ($p \leq 0,05$) todas as variáveis com exceção de DS, DSMAX, UGPMP, UVPMP e CRIP. Todavia, a interação entre local no campo x profundidade de coleta afetou a DSM e DREL (Figura 17).

Tabela 4 - Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos físicos do solo de quatro campos. As amostras de solo foram coletadas em dois locais em cada campo dentro e fora da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja em soja em quatro camadas de coleta (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm).

Fator de variação	GL	ARG	SIL	ARE	DS	DSM	DSMAX	DREL	PT	UGCC	UVCC	UGPMP	UVPMP	MACRO	MICRO	CRIP	ARM
<i>Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico úmbrico</i>																	
Local no campo (L)	1	<0,01	0,11	0,03	0,65	<0,01	<0,01	0,19	0,68	0,64	0,83	0,06	0,49	0,72	0,36	0,19	0,31
Profundidade (P)	3	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
L x P	3	0,99	0,35	0,72	0,35	<0,01	0,95	<0,01	0,26	0,05	0,01	0,48	0,20	0,18	<0,01	0,83	0,01
<i>Cambissolo Háptico Ta Distrófico úmbrico</i>																	
Local no campo (L)	1	0,01	0,01	0,03	0,19	<0,01	0,01	<0,01	0,28	0,84	0,35	0,01	0,04	0,26	0,43	0,04	0,43
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	0,17
L x P	3	0,51	0,99	0,62	0,87	<0,01	0,51	<0,01	0,95	0,55	0,54	0,51	0,87	0,83	0,53	0,87	0,53
<i>Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico</i>																	
Local no campo (L)	1	<0,01	0,01	0,04	0,91	<0,01	<0,01	0,04	0,96	0,11	<0,01	0,01	0,51	0,73	<0,01	0,51	<0,01
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,29	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
L x P	3	0,04	0,17	<0,01	0,13	<0,01	0,39	<0,01	0,07	0,14	<0,01	0,39	0,03	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
<i>Nitossolo Vermelho Distrófico típico</i>																	
Local no campo (L)	1	0,14	<0,01	0,01	0,69	<0,01	0,10	0,88	0,92	0,27	0,48	0,10	0,78	0,82	0,46	0,79	0,46
Profundidade (P)	3	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	<0,01	0,17	<0,01	0,04	0,01	<0,01	0,17	0,80	<0,01	<0,01	0,80	<0,01
L x P	3	0,77	0,06	0,36	0,74	<0,01	0,41	<0,01	0,63	0,37	0,95	0,41	0,71	0,57	0,93	0,71	0,93

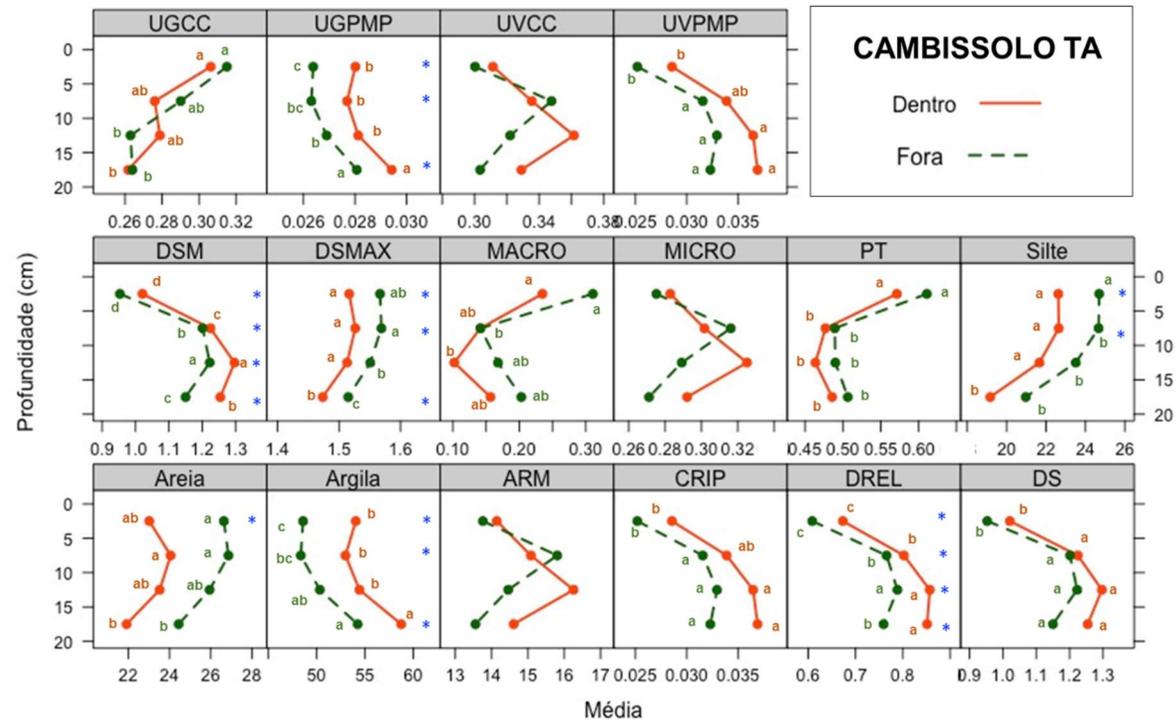
ARG: Argila (%); SIL: Silte (%); ARE: Areia (%); DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

Figura 14 - Atributos físicos do solo (Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico) coletado em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.



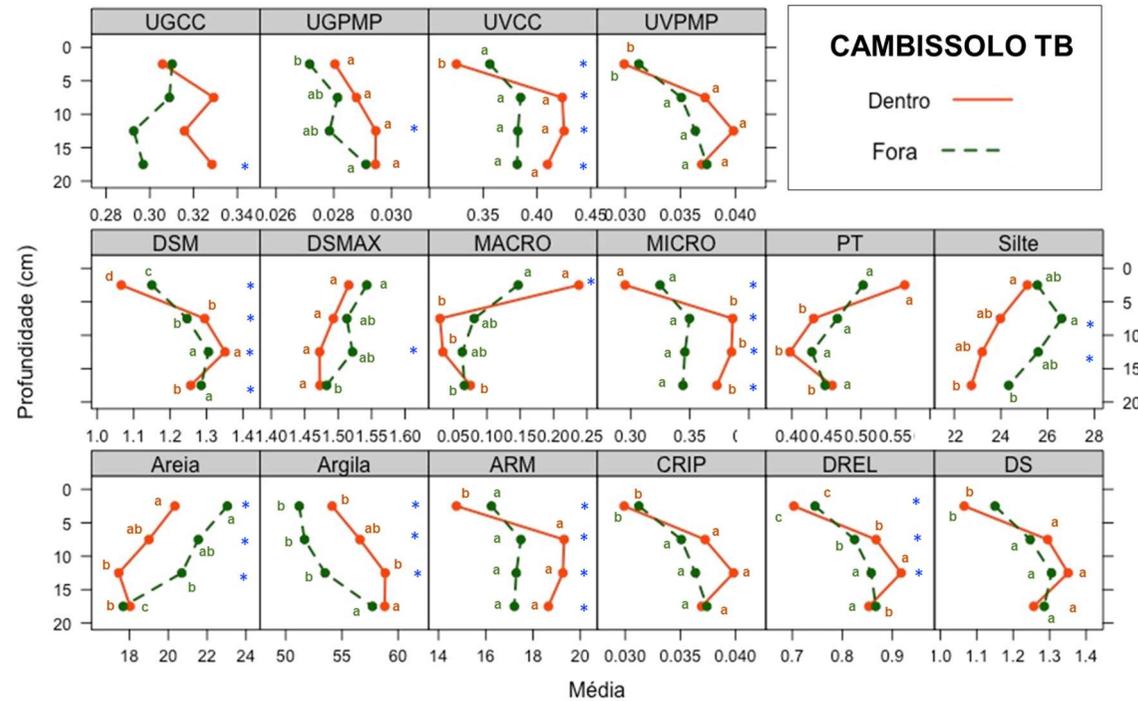
DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

Figura 15 - Atributos físicos do solo (Cambissolo Háplico Ta Distrófico úmbrico) coletado em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo



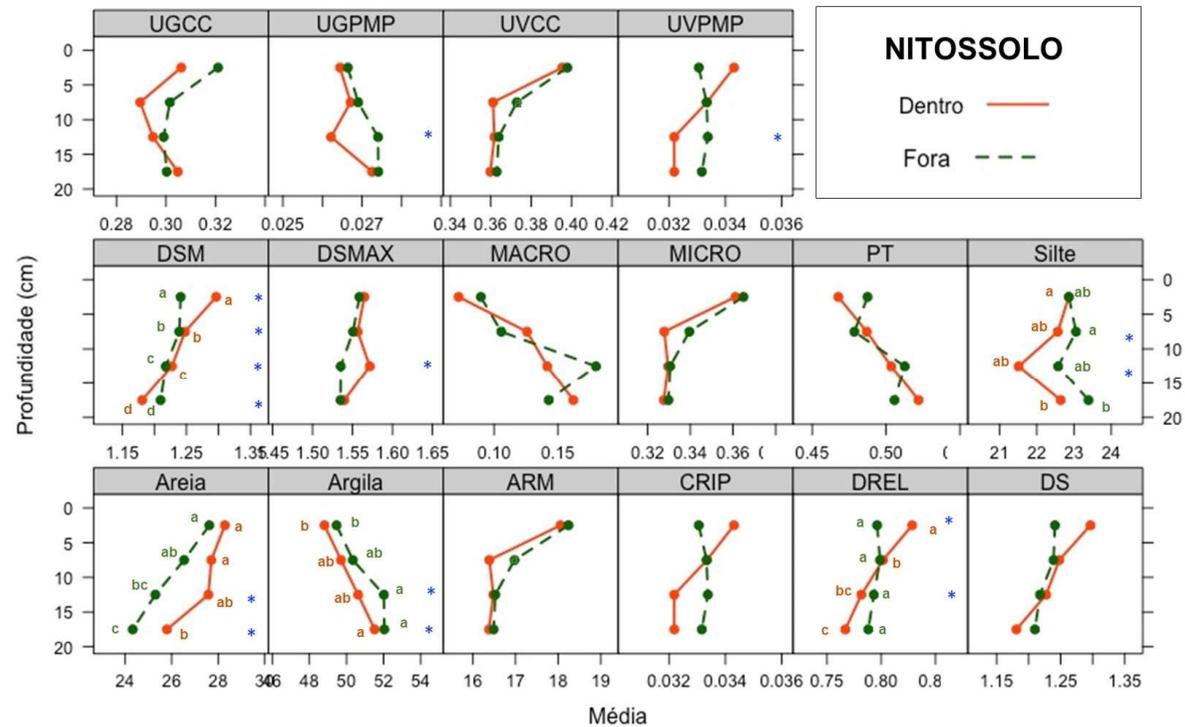
DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

Figura 16 - Atributos físicos do solo (Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico) coletado em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de Rhizoctonia em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.



DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

Figura 17 - Atributos físicos do solo (Nitossolo Vermelho Distrófico típico) coletado em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com histórico de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Médias seguidas pela mesma letra para comparação da profundidade de coleta do solo não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os asteriscos em azul indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais dentro e fora da reboleira em uma determinada profundidade de coleta do solo.



DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

3.4.10 Análise física- ACP

Para os atributos físicos do solo foram gerados três componentes principais com autovalores superiores a 1 e que representam 89,17% da variância total dos dados (Tabela 5). Os CP1 e CP2 foram responsáveis por 50,10% e 28,88% da variação dos dados, entretanto, houve sobreposição das elipses referentes a cada local no campo (Figura 17). As variáveis que apresentaram maior contribuição no CP1 foram UVCC (10,86%), UVPMP (10,55%), macroporos (10,09%), microporos (10,37%) e ARM (10,36%). Todavia, as variáveis com maior contribuição no CP2 foram o teor de argila (17,55%), UGMPM (17,29%), DSMAX (17,21%) e areia (12,31%). O CP3 apresentou variância de 10,19% (Tabela 5) e a variável com maior contribuição foi UGCC (38,99%). Ainda assim, houve sobreposição das elipses referentes ao agrupamento do local no campo quando o CP2 e CP3 foram plotados (Figura 18).

3.4.11 Análise microbiológica

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os locais no campo para UFC de bactérias e fungos (Figura 19).

3.4.12 Incidência de podridão radicular de Rhizoctonia e produtividade de soja

A incidência de podridão radicular de Rhizoctonia dentro da reboleira apresentou média de 42%, 55%, 58% e 70% para o Nitossolo, Argissolo, Cambissolo Ta e Cambissolo Tb, respectivamente (Figura 19). Apenas no Cambissolo Ta apresentou incidência da doença fora da reboleira (10%) ao passo que nos demais campos não foi observada a doença. A produtividade de soja foi significativamente reduzida ($p < 0,10$) dentro da reboleira em relação ao local fora da reboleira nos campos com Argissolo, Cambissolo Ta e Nitossolo (Figura 20).

Tabela 5- Autovalores, variância (%) e variância acumulada (%) para cada componente principal gerado na análise dos dados de atributos físicos do solo dentro e fora da reboleira com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja.

Componente Principal (CP) ^a	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	8,49	50,10	50,10
CP2	3,51	28,88	78,98
CP3	1,82	10,19	89,17
CP4	1,18	5,66	94,83
CP5	0,924	3,23	98,06
CP6	0,648	0,73	98,79
CP7	0,427	0,44	99,23
CP8	0,381	0,38	99,61
CP9	0,255	0,23	99,84
CP10	0,137	0,09	99,93
CP11	0,119	0,05	99,98
CP12	0,056	0,006	99,99
CP13	0,033	0,004	99,99
CP14	0,006	0,003	99,99
CP15	0,003	<0,001	100,00
CP16	0,001	<0,001	100,00

^a A análise de componentes principais foi realizada com a média das camadas 0-5 e 5-10 cm para cada repetição e local no campo.

Figura 18 - Biplot dos componentes principais: CP1 e CP2 (a esquerda) e CP2 e CP3 (a direita). As setas indicam os atributos da análise química do solo e as elipses indicam o agrupamento dos locais no campo dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. ARG: Argila (%); SIL: Silte (%); ARE: Areia (%); DS: densidade dos sólidos (g cm^{-3}); DSM: densidade média do solo (g cm^{-3}); DSMAX: densidade máxima (g cm^{-3}); DREL: densidade relativa; PT: porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); UGCC: umidade gravimétrica na capacidade de campo (g g^{-1}); UVCC: umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); UGPMP: umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (g g^{-1}); UVPMP: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); MACRO: macroporos ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); MICRO: microporos ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); CRIP: criptoporos ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); ARM: armazenamento de água (mm).

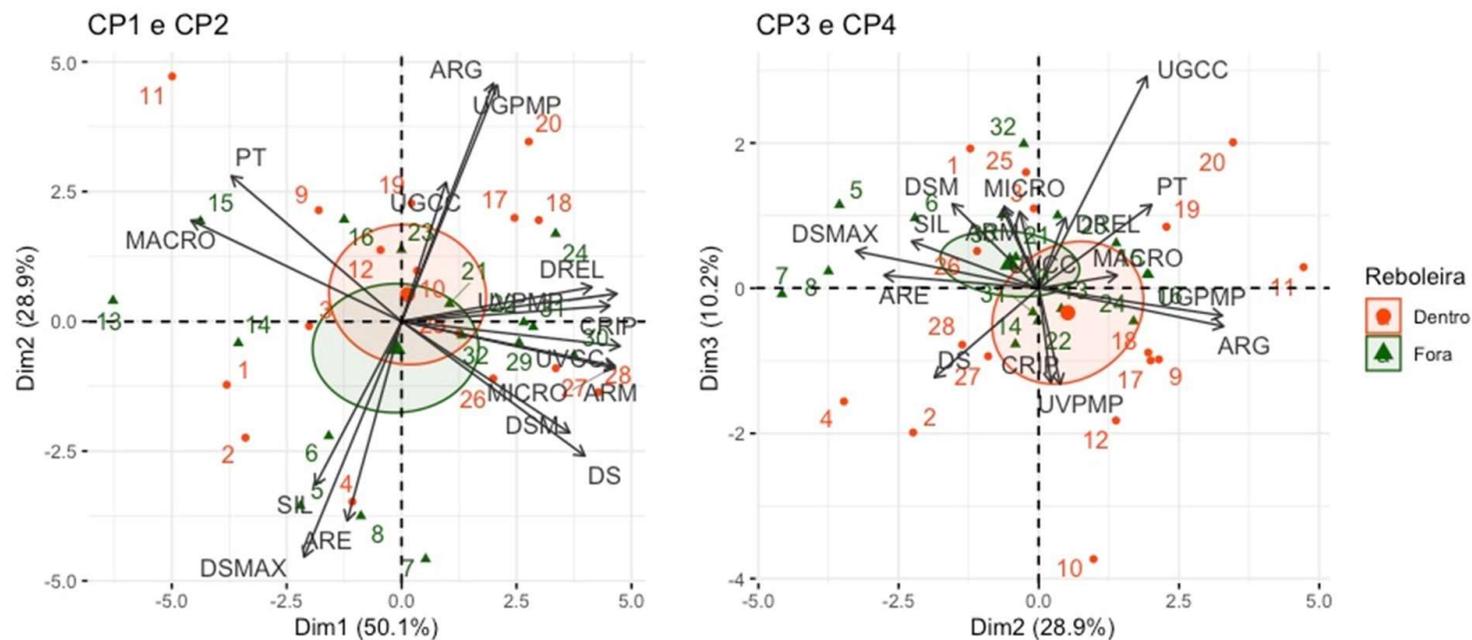


Figura 19 - Unidades formadoras de colônia (UFC g⁻¹ solo seco) de bactérias e fungos dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em quatro campos com diferentes classes de solo. Os valores em azul indicam a probabilidade de diferença significativa entre o local dentro e fora da reboleira. Os pontos em preto indicam valores discrepantes. Os losangos indicam a média aritmética.

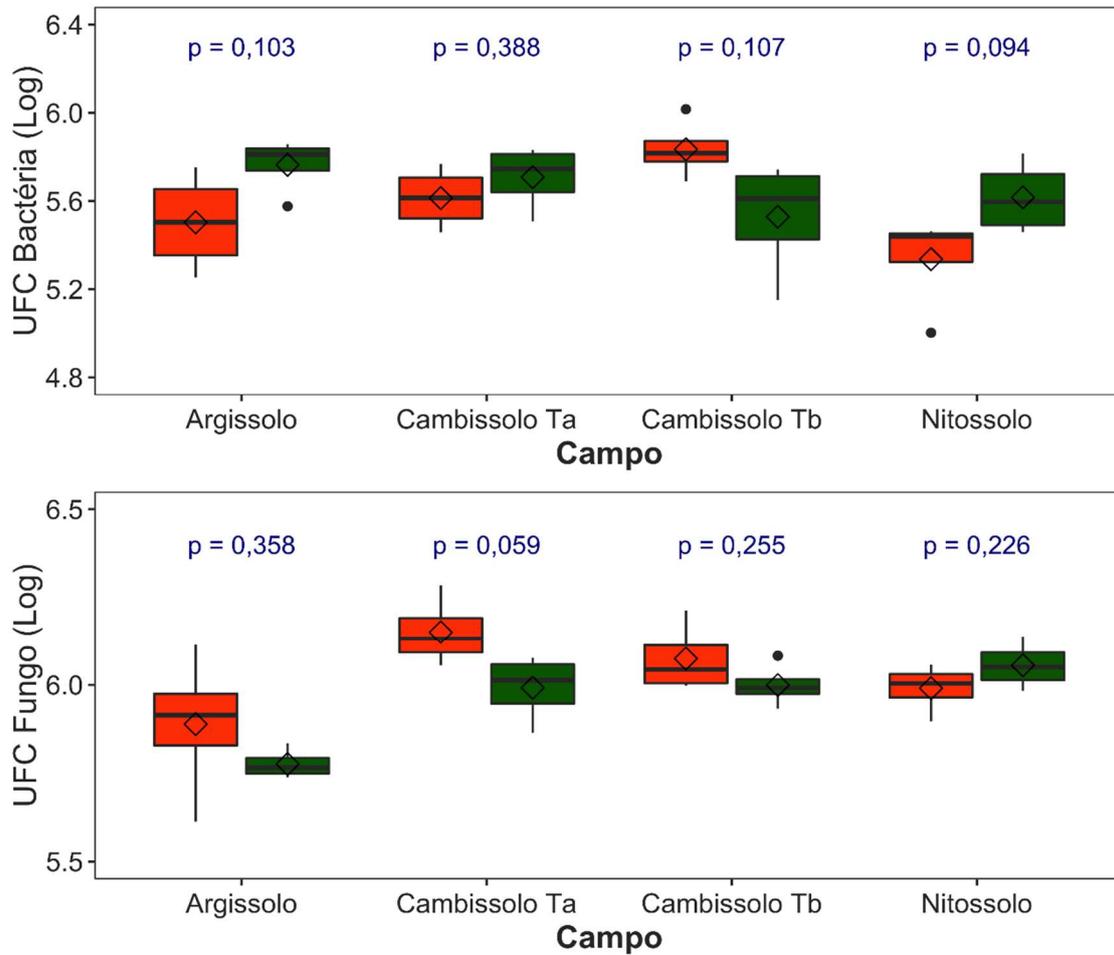
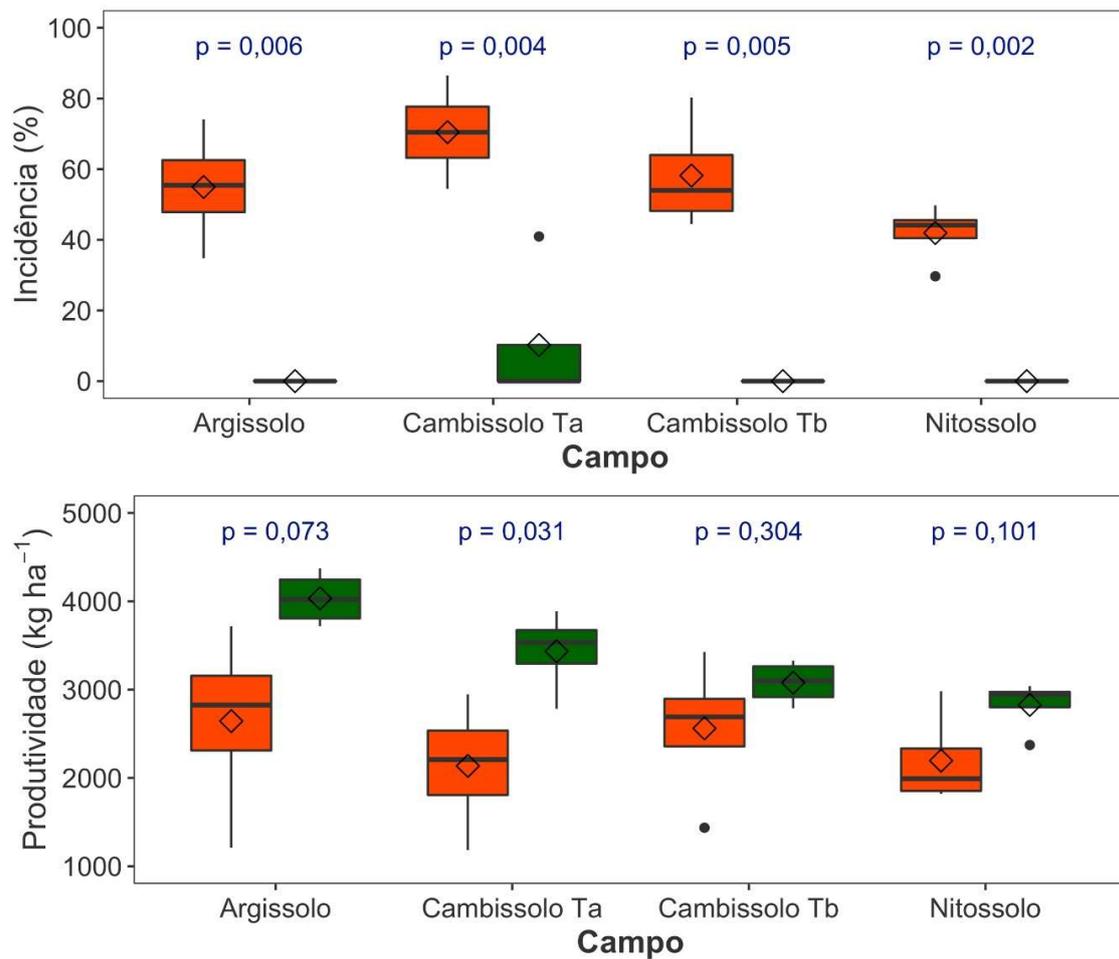


Figura 20 - Incidência (%) de podridão radicular de *Rhizoctonia* e produtividade de soja (kg ha^{-1}) dentro (laranja) e fora (verde) da reboleira em quatro campos com diferentes classes de solo. Os valores em azul indicam a probabilidade para comparação entre o local dentro e fora da reboleira. Os pontos em preto indicam valores discrepantes. Os losangos indicam a média aritmética.



3.5 Discussão

Neste estudo, os resultados de vários atributos químicos, físicos e microbiológicos, obtidos em amostras de solo coletadas em áreas com e sem a podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja, e em quatro tipos de solos, foram relacionados com a incidência dessa doença. De forma geral, os resultados indicaram que os atributos químicos, principalmente os que expressam o grau de acidez do solo, das camadas mais superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm), foram os que mais variaram entre as áreas com e sem a podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. A análise multivariada indicou que a incidência dessa doença está associada, principalmente, aos teores de Al trocável e de acidez potencial, além dos teores de Cu extraível. Por outro lado, a ausência ou baixa incidência da doença está associada aos maiores valores de pH, de saturação por bases, de Ca e de Mg trocáveis, i. e. está associada a solo menos ácido.

Este estudo foi conduzido em região de clima subtropical, no sul do Brasil, em solos intemperizados, como o Argissolo, o Cambissolo Tb e o Nitossolo. A formação desses solos ocorre em ambiente de relativamente alta precipitação pluvial e intemperismo, a partir do material de origem basalto. Os principais minerais primários desses solos, como feldspatos e outros alumino-silicatos, são intemperizados, formando, principalmente, caulinita e hidróxidos e óxidos de Al e Fe, entre outros constituintes (YAKUBU & OJANUJA, 2014). Nesse processo ocorre, principalmente, a perda de K, Ca, Mg e Na por lixiviação pronunciada e o Al torna-se o cátion trocável predominante, em solos com pH menor 5,5 (DAHLGREN & WALKER, 1993), o que pode ser constatado pela alta saturação desse cátion na CTC efetiva, principalmente, nas camadas mais profundas que analisamos. As formas trocáveis de Al, quando passam para a solução do solo, acidificam o solo (reação de hidrólise), diminuindo o valor do pH em água. Em solos com menor pH, há menor disponibilidade de macronutrientes às plantas, como o Ca e o Mg (HUBER & JONES, 2013; UMESH, KENING & SIYUAN, 2008), mas a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, como o Cu aumenta (HUBER & JONES, 2013; UMESH, KENING & SIYUAN, 2008; VORONEY, 2019).

Uma das consequências da menor disponibilidade de nutrientes, principalmente de Ca, e do aumento de Al em formas trocáveis no solo é a diminuição da capacidade de defesa da planta a doenças (GUPTA et al., 2017; MELAKEBERHAN et al., 2000). Em nosso trabalho constatamos maior incidência de podridão de Rhizoctonia em plantas de soja coletadas em áreas mais ácidas e com menor teor de nutrientes, como o Ca e Mg (dentro das reboleiras). Por outro lado, constatamos ausência ou baixa incidência dessa doença em áreas com maiores teores desses nutrientes e maiores valores de pH e de saturação por bases, i. e. em solos com menor acidez. Assim, nossos resultados indicam que a condição de acidez do solo e de disponibilidade de Al, Ca, Mg e Cu pode ter influenciado a interação planta (hospedeiro)-patógeno-solo (ambiente).

Nossos resultados contrastam com os relatados por Rodrigues et al. (1998), que constataram correlação negativa entre o índice de severidade de podridão radicular de Rhizoctonia em feijão e a saturação por Al e o teor de argila, e correlação positiva com a saturação por bases e o pH. Essa discrepância pode estar relacionada com as condições experimentais dos trabalhos. O experimento avaliado por Rodrigues e colaboradores foi conduzido em condições controladas, com inoculação artificial do patógeno e cultivo de feijoeiro, ao contrário do nosso trabalho, que foi a campo, sem suplementação hídrica e em solo manejado com plantio direto, cultivado com soja e com ocorrência da doença, há muitos anos. Assim, a dinâmica da interação solo-planta-patógeno foi distinta entre estes dois trabalhos, o que pode ter influenciado a discrepância dos resultados.

A associação positiva entre a maior condição de acidez do solo e a incidência de podridão de Rhizoctonia em soja pode ser explicada considerando a interação planta (hospedeiro)-patógeno-solo (ambiente). O efeito da acidez na dinâmica de doenças de plantas pode afetar diretamente o crescimento do fitopatógeno (ALHUSSAEN et al., 2012; SANOGO & YANG, 2001); ou indiretamente, influenciar o crescimento e o desenvolvimento vegetal (MELAKEBERHAN et al., 2000). O fungo *R. solani* pode se desenvolver em uma ampla faixa de pH, com intervalo ótimo para o crescimento micelial variando de 5,0 a 7,0 (GOSWAMI et al., 2011; RITCHIE et al., 2009). Ajustar o pH para valor que extrapole essa faixa ótima pode ser utilizado como estratégia de controle de doenças, como mostram trabalhos com outros fungos, como Fusarium, em morangueiro

(FANG et al., 2012); *Pythium ultimum* e *Fusarium oxysporum*, em tomateiro (ALHUSSAEN, 2012); e hérnia das crucíferas em Brassicáceas (RUARO et al., 2010).

Constatamos valores mais baixos de pH e menores que 5,0, na reboleira do Argissolo e do Cambissolo Tb, de 0-5 cm; e do Nitossolo, até 10 cm de profundidade, ou seja, em camadas de solo em que predominam o maior volume de raízes da soja, principalmente, nos estádios iniciais do crescimento da cultura. Esse valor de pH é menor que o limite inferior da faixa ótima relatada para *R. solani* (5,0 a 7,0), e indica, portanto, que esse atributo não favoreceu diretamente o maior crescimento do fungo nessas amostras. Por outro lado, os menores valores de pH podem ter influenciado indiretamente a incidência da doença, verificada nas plantas da reboleira. Isso pode ser atribuído a maior disponibilidade de Al e a menor disponibilidade de Ca do solo, em valores de pH < 5,0 (DAHLGREN & WALKER, 1993), além da maior disponibilidade de Cu e de outros micronutrientes catiônicos (DAHLGREN & WALKER, 1993). Essa influência do pH foi mais evidente na camada de 0-10 cm do Nitossolo, cuja saturação por Al e teor de Al trocável foi maior dentro da reboleira; enquanto que os teores de Ca e de Mg foram menores. Além disso, nesse local de amostragem do Nitossolo, os valores desses atributos foram maiores que o nível crítico preconizado para a cultura da soja, na camada de 0-10 cm (10% e 1,0 cmol_c dm⁻³; SANTOS et al., 2016). Assim, o pH do solo influenciou a disponibilidade de Al e de macronutrientes, o que inibe o crescimento vegetal (UMESH, KENING & SIYUAN, 2008). Em condição de maior estresse causado pelo Al, a planta é mais suscetível a infecção de fitopatógenos (MARSCHNER, 2012), como indica a maior incidência da doença, constatada nas reboleiras.

No Argissolo e Cambissolo Tb, os teores de Cu foram maiores dentro da reboleira, e em todas as camadas do solo. Além disso, foram mais de dez vezes maiores, que o nível crítico desse nutriente preconizado em solos do Sul do Brasil (0,40 mg dm⁻³; GATIBONI et al., 2016). Embora a disponibilidade desse nutriente depende de muitos fatores, como o pH e o teor de matéria orgânica do solo, há uma faixa estreita no solo entre a deficiência de Cu e a toxicidade. Assim, como comentado em relação ao Al, o excesso de Cu pode ter limitado o crescimento vegetal e a condição de estresse nutricional causada também por esse micronutriente pode ter tornado a planta mais suscetível a infecção de

fitopatógenos (GUPTA et al., 2017), como indica a maior incidência da doença, que constatamos nas áreas mais ácidas.

Há pouca informação em relação ao efeito do elemento Cu na ocorrência de doenças causadas por patógenos de solo. Embora solos supressivos à *R. solani*, ricos em bactérias saprófitas e fungos que apresentam propriedades queratinolítica e quitinolítica, estão associados a elevados teores desse cátion, além de Zn e de Se (ANDREO-JIMENEZ et al., 2021), em nosso trabalho os maiores teores de Cu foram verificados na área com maior incidência da doença, indicando possível excesso desse nutriente e efeito negativo na sanidade vegetal.

Um solo biologicamente ativo é aquele em que microrganismos propiciam a decomposição de materiais orgânicos e a mineralização de nutrientes, suprindo assim o ataque de fitopatógenos às raízes de planta (ABAWI & WIDMER, 2000). O teor de matéria orgânica de todos os tipos de solo avaliados no trabalho, dentro e fora da reboleira, foi relativamente alto. Essa condição explica a ausência de diferença significativa das unidades formadoras de colônia de bactérias e fungos, entre esses locais. Nossos resultados corroboram com Ghini & Morandi (2006), que constataram correlação da supressão a *R. solani* somente com variáveis abióticas. Além disso, corrobora o relatado por Rodrigues et al. (1998), que não verificaram consistência na população de fungos, de diferentes tipos de solos testados. É necessário ressaltar que em nosso estudo não avaliamos os tipos de bactérias ou fungos das amostras, mas apenas quantificamos as unidades formadoras de colônia desses organismos.

Além das propriedades químicas e biológicas, o micro-habitat do solo também se caracteriza por propriedades físicas e que influenciam as funções e organização das comunidades fúngica (RODRIGUES-SANCHES et al., 2022). Exceto no Nitossolo, constatamos maior teor de argila dentro da reboleira. Isso contrasta com alguns resultados relatados na literatura, que indicam maior potencial de inóculo de *R. solani* em solos mais arenosos cultivados com tabaco (HARRIES et al., 2020) ou trigo (OKUBARA et al., 2014), e que é atribuído ao crescimento micelial mais rápido do patógeno (GILL et al., 2000).

A compreensão dos fatores edáficos relacionados com a podridão radicular de *Rhizoctonia* são importantes para determinar estratégias de manejo da doença. Por exemplo, a partir dos nossos resultados que mostram a associação entre a maior condição de acidez e a incidência da doença dentro da reboleira pode-se considerar a calagem como uma prática que contribui para o controle dessa doença, na medida em que ela pode corrigir os teores de alumínio tóxicos e de cobre do solo.

3.6 Conclusão

Os atributos de solo que mais se relacionam com a incidência da podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em soja são os de natureza química, que expressam o nível de acidez, como o teor de alumínio trocável e o valor da saturação desse cátion na CTC efetiva, ou teor de acidez potencial. Além desses atributos, os teores de cobre extraível também estão associados a essa doença. Por outro lado, as características físicas e microbiológicas do solo não estão associadas com a podridão radicular de *Rhizoctonia solani* em soja.

4 CAPÍTULO II

EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO SOBRE A INCIDÊNCIA DA PODRIDÃO RADICULAR DE RHIZOCTONIA E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM QUATRO TIPOS DE SOLO

Capítulo aceito para publicação no formato de artigo científico revista Plant Pathology

4.1 Resumo

A podridão radicular de *Rhizoctonia* (PRR) é uma doença causada pelo fungo *Rhizoctonia solani* e comumente causa a morte de plantas de soja em reboleiras. É uma doença de difícil controle, uma vez que o patógeno sobrevive no solo e apresenta ampla gama de hospedeiros. Desta forma, outros métodos de controle como o cultural poderiam ser empregados para manejo da doença. Assim, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito da aplicação de calcário sobre a supressão da PRR em soja. O experimento foi conduzido no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil. O arranjo dos tratamentos foi em esquema fatorial de 4 campos (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb, Nitossolo) x 2 locais em cada campo (dentro e fora da reboleira) x 4 doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. Todos os campos apresentaram maior incidência de PRR dentro (média = 40,29%) da reboleira do que fora (média = 1,24%). Houve redução de 3,86%, 3,67%, 3,57% e 1,83% na incidência de PRR para cada tonelada de calcário aplicada no Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo, respectivamente. Além disso, a AACPD foi reduzida em 73, 68, 56 e 13 unidades para cada tonelada de calcário aplicada no Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo, respectivamente. As doses de 6,6 e 6,2 t ha⁻¹ de calcário proporcionaram as maiores produtividades de soja de 4713 e 3349 kg ha⁻¹ para o Argissolo e Nitossolo, respectivamente. Para o Cambissolo Tb houve aumento de 172 kg ha⁻¹ de soja para cada tonelada de calcário. Conclui-se que a aplicação de calcário contribui para supressão da PRR e, portanto, é uma prática que pode ser utilizada em um programa de manejo integrado da doença e contribuir para a sustentabilidade do sistema de produção.

Palavras-chave: 1. Controle cultural. 2. *Glycine max.* 3. Manejo integrado de doenças. 4. Patógeno de solo. 5. Supressão.

4.2 Introdução

A morte de plantas de soja em reboleira conhecida popularmente como “mancha morredeira” é um problema recorrente em vários campos de produção no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (HUZAR-NOVAKOWISKI et al., 2020). Conseqüentemente, ocorre redução na população final de plantas com danos na produtividade de soja (GABARDO et al., 2020). Dentre as possíveis causas da morte de plantas em reboleira, está a podridão radicular de *Rhizoctonia* (HAYDEN et al., 2019), a qual é uma doença causada pelo fungo *Rhizoctonia solani* Kühn (MYCOBANK, 2021).

A podridão radicular de *Rhizoctonia* pode ocorrer desde estádios iniciais de estabelecimento da cultura da soja até estádios mais avançados de desenvolvimento (MAIMONE et al., 2021). A doença se caracteriza por sintomas de coloração arroxeadada a vermelho-pardo com estrangulamento na parte basal da haste da soja e estrias avermelhadas na raiz (AMORIM et al., 2016) o que compromete a translocação de água e nutrientes pelo xilema assim como fotoassimilados pelo floema, o que acarreta a morte da planta (MICHEREFF, ANDRADE, MENEZES; 2005).

Rhizoctonia solani é um patógeno naturalmente encontrado no solo (LIU et al., 2019), sobrevive pela produção de escleródios (BUENO, AMBRÓSIO & SOUZA, 2007) apresenta ampla gama de hospedeiros (AJAYI-OYETUNDE & BRADLEY, 2018) e elevada variabilidade genética (BLANCO et al., 2018; FENILLE, SOUZA & KURAMAE, 2002) o que dificulta o manejo da podridão radicular em soja. O controle químico com o uso de fungicidas é restrito ao tratamento de sementes, o que é apenas efetivo em estádios iniciais da cultura (DORRANCE et al., 2003). Além disso, as cultivares de soja disponíveis apresentam baixa ou nula resistência genética (BEN, 2005; MEYER, 2002; WILLIAMSON-BENAVIDES & DHINGRA, 2021). O controle biológico tem sido estudado e embora haja algumas opções de produtos disponíveis para manejo da doença (LES et al., 2020), ainda é pouco utilizado pelos produtores. Desta forma, a adoção de outros métodos de controle é necessária de forma a minimizar os danos na produtividade da cultura da soja e contribuir para a sustentabilidade do sistema de produção.

O manejo da fertilidade do solo pode contribuir para o controle de doenças em plantas (BASSETO et al., 2007). Há ainda os solos supressivos que têm a capacidade de controlar doenças em plantas mesmo na presença de um fitopatógeno, hospedeiro suscetível e ambiente favorável (BAKER & COOK, 1974). Uma unidade de solo em equilíbrio demanda uma faixa de pH estável entre 6,6 a 7,0, apresenta teores nutricionais balanceados, possui boa condutividade elétrica e fomenta a atividade biológica (HARRIES et al., 2020). Quando acontece qualquer alteração na unidade solo, ocorre também um desequilíbrio na porção supressiva, aumentando assim a população de fitopatógenos (SCHLATTER et al., 2017).

Solos de regiões tropicais e subtropicais comumente apresentam pH ácido, o que causa elevação na saturação por alumínio com efeitos tóxicos às plantas e, concomitantemente, ocorre redução na saturação por bases (ALVAREZ et al., 2020). Uma das maneiras de interferir no pH do solo dá-se pela utilização de substâncias neutralizantes como o calcário agrícola (VARGAS et al., 2019). Esse manejo denominado “calagem” é utilizado com o objetivo de corrigir a acidez (RUARO et al., 2010), diminuir a disponibilidade de elementos tóxicos às plantas como alumínio e manganês (YIN et al., 2021) e auxiliar na liberação de elementos essenciais à nutrição de plantas como cálcio e magnésio (SCHUMANN, VASHISTH & SPANN, 2017).

Em um estudo anterior, o índice da podridão radicular por *R. solani* em plântulas de soja foi negativamente correlacionado com a saturação por alumínio e o teor de argila ao passo que foi positivamente correlacionado com a saturação por bases e o pH do solo (RODRIGUES et al., 1998). Além disso, em outro estudo foi reportado aumento de 32% no índice da doença em feijão com o aumento da dose de calcário (RODRIGUES, CARVALHO & VALE, 2002). Todavia, em outros trabalhos foi relatada que a calagem promoveu redução na severidade da hérnia das crucíferas em couve-flor (SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2020), murcha de Fusarium em espinafre (GATCH & DU TOIT, 2017) e murcha bacteriana em tabaco (LI et al., 2017).

Assim, a hipótese do trabalho é que a aplicação de calcário pode reduzir a incidência da podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. Essa informação seria útil aos

produtores que relatam problemas com a doença em campos de cultivo de soja e que poderiam usufruir desta prática para manejo da doença. Desta forma, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito da aplicação de doses de calcário sobre a incidência da podridão radicular de *Rhizoctonia* e produtividade da cultura da soja.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no município de Soledade no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 21) durante a safra 2020/2021. Quatro campos com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* e diferentes classes de solos foram selecionados para o estudo (Tabela 6).

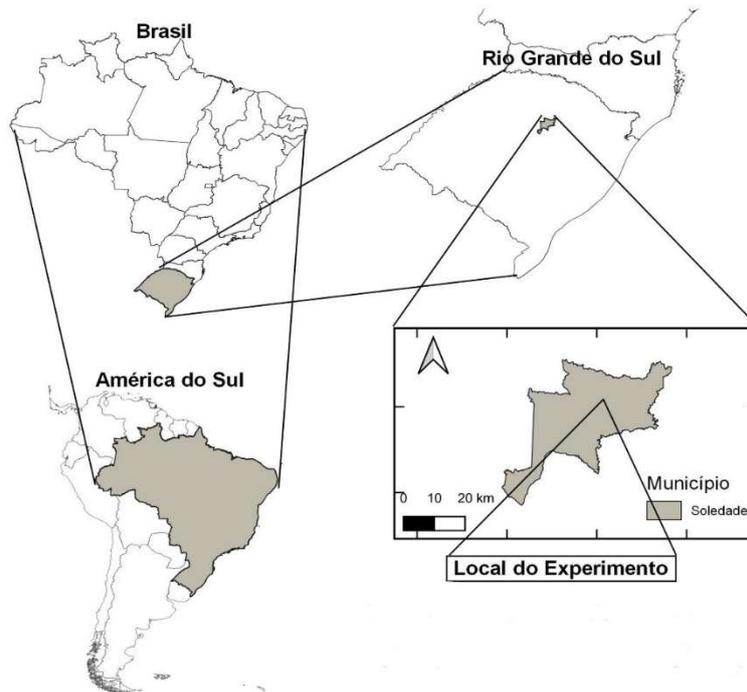
Os campos Argissolo, Cambissolo Ta e Cambissolo Tb foram transformados de campo nativo para áreas de cultivo no ano de 2000 no verão com cultivo de soja e no inverno azevém com gado de corte, a partir do ano de 2009 verão cultura da soja e inverno aveia preta intercalando cobertura e colheita de grãos, posterior 2019 verão soja inverno dois anos em sequência trigo e posterior um ano aveia preta em cobertura seguindo até então nessa modalidade. Para o campo Nitossolo campo nativo transformado para cultivo agrícola ano de 2013 para o verão soja e inverno com pastagem de aveia e azevém para gado de corte, a partir de 2020 verão soja e inverno cobertura com centeio.

4.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial de 4 campos com diferentes classes de solo (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo,) x 2 locais em cada campo (dentro e fora da reboleira) x 4 doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹). As “reboleiras” foram caracterizadas por pontos no campo em formato aproximadamente circular onde morrem plantas de soja devido à podridão radicular de *Rhizoctonia* dentro de uma área maior (Figura 22). As áreas denominadas como “fora” foram áreas com desenvolvimento das plantas de soja sem observação da ocorrência de plantas doentes em anos anteriores. As doses de calcário testadas foram determinadas com base na média da

análise química de solo dos quatro campos sem a separação dentro e fora seguindo assim apenas o fator campo (Tabela 7), calculadas por meio do método de saturação por bases para pH de referência com valor V% (saturação por bases) pH 6,5 = V 85%. Calculados através da fórmula: $NC = [(V1-V2) / 100] \times CTC \text{ pH } 7,0$ (SANTOS et al., 2016).

Figura 21 - Localização do experimento no município de Soledade, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: BALBINOTTI (2021)

O delineamento experimental dentro de cada local no campo foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por cinco linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 m e comprimento de 6 m com densidade de 18 sementes por metro linear com população final de 6 a 12 plantas por metro linear, sendo considerada apenas as três linhas centrais como área útil para as avaliações.

Figura 22 - Reboleiras com ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* (A). O solo foi arado na camada de 20 cm com um arado de três discos de 28 polegadas (B), seguido de aplicação de calcário (C). O solo foi arado com uma grade pesada em forma de V com 20 discos de 28 polegadas (D). Nivelamento dos campos com discos em forma de V de 32 e 20 polegadas (E). Visão do local campo com soja em estágio de crescimento vegetativo (F) e estágio reprodutivo avançado (G). Sintomas da doença em plantas de soja (H).



Fonte: BALBINOTTI (2020-2021)

Tabela 6 - Informações gerais dos campos com diferentes classes de solo onde o experimento foi realizado

Camada de solo	Descrição	Unidade	Argissolo	Cambissolo	Cambissolo	Nitossolo
			Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico	Háplico Ta Distrófico úmbrico	Háplico Tb Eutrófico típico	Vermelho Distrófico típico
Perfil Completo	Altitude	m	580	584	586	575
	Coordenadas	-	28°45'28.9"S	28°45'40.1"S	28°45'34.3"S	28°45'42.1"S
			52°26'20.0"O	52°26'20.2"O	52°26'07.0"O	52°28'38.3"O
	Relevo Local	-	Plano	Suave, ondulado	Suave, ondulado	Plano
	Erosão	-	Não aparente	Não aparente	Não aparente	Não aparente
Drenagem	-	Bem drenado	Bem drenado	Bem drenado	Bem drenado	
Primeira	Espessura	cm	75	30	50	20
	Areia	%	45	22	20	28
	Argila	%	37	40	55	52
	Silte	%	18	38	25	20
	Tipo estrutura	-	Granular, grãos simples	Blocos angulares, subangulares, grãos simples	Blocos angulares, subangulares, e grãos simples	Granular, blocos angulares e subangulares,
	Poros	-	Grandes (abundantes)	Médios (comuns)	Pequenos (abundantes)	Médios (comuns)
	Textura	-	Franco-argilosa	FrancoArgilo-siltosa	FrancoArgilo-siltosa	Argila
Segunda	Espessura	-	140	120	110	120
	Areia	%	20	7	6	18
	Argila	%	67	76	74	65
	Silte	%	13	17	20	17
	Tipo estrutura	-	Blocos angulares e subangulares	Granular, blocos angulares e subangulares. Prismática e colunar	Blocos subangulares. Prismática e colunar	Blocos angulares, subangulares. Prismática e Colunar
	Poros	-	Médios (abundantes)	Médios (comuns)	Grandes (abundantes)	Médios (comuns)
	Textura	-	Muito argilosa	Muito argilosa	Muito argilosa	Muito Argilosa

*Caracterização das classes de solo, e análises química do horizonte diagnóstico subsuperficial extraídos do: Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia-Universidade de Passo Fundo, BALBINOTTI (2018).

*Caracterização morfológica IBGE (2015).

Tabela 7 - Análise química do solo (camada 0 a 20 cm) em quatro campos com diferentes classes de solo dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja

Característica	Unidade	Argissolo		Cambissolo Ta		Cambissolo Tb		Nitossolo	
		Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora
Argila	%	52,00	51,00	59,20	53,20	62,10	60,10	57,50	57,20
pH	-	4,75	5,00	4,90	5,01	4,94	4,60	4,41	4,87
SMP	-	5,60	5,70	5,90	5,80	5,70	5,30	5,30	5,60
Fósforo (P)	mg dm ⁻³	17,71	17,06	55,80	54,00	24,21	21,28	43,8	31,04
Potássio (K)	mg dm ⁻³	340,68	260,69	386,29	369,73	311,24	280,35	384,53	372,46
Matéria orgânica	%	3,23	3,08	4,60	4,28	3,64	3,61	3,53	3,88
Alumínio (Al ³⁺)	cmol _c dm ⁻³	1,08	0,96	0,41	0,34	2,03	0,92	1,96	1,17
Cálcio (Ca ²⁺)	cmol _c dm ⁻³	4,54	5,09	8,03	9,51	5,90	6,73	3,06	5,18
Magnésio (Mg ²⁺)	cmol _c dm ⁻³	1,98	2,25	3,52	3,23	2,33	3,19	1,60	2,54
H + Al	cmol _c dm ⁻³	7,43	6,54	5,29	4,88	9,44	6,53	10,24	7,94
CTC _{potencial}	cmol _c dm ⁻³	14,81	14,54	18,86	17,47	17,23	18,39	15,88	16,60
Saturação por bases	%	50,76	55,43	69,62	74,06	49,90	61,96	37,41	53,18
Saturação por Al	%	14,54	14,02	3,61	2,63	15,03	9,96	28,62	15,68
Saturação por K	%	5,91	4,64	5,25	5,41	4,63	3,95	6,26	5,77
Zinco	mg dm ⁻³	2,03	2,08	7,11	4,50	2,76	2,56	2,62	4,19
Cobre	mg dm ⁻³	6,43	3,39	4,82	2,23	5,33	2,30	4,01	3,38
Manganês	mg dm ⁻³	14,73	13,56	17,58	14,02	16,12	16,96	18,41	25,00
Boro	mg dm ⁻³	0,29	0,32	0,34	0,36	0,29	0,32	0,34	0,33
Enxofre	mg dm ⁻³	13,90	12,29	33,37	23,80	13,90	18,22	27,76	27,32

Método para análise de solo descrito em (EMBRAPA, 2017; TEDESCO et al., 1995; TOLEDO et al., 2012; WALKLEY & BLACK, 1934).

4.3.3 Aplicação do calcário

As doses de calcário foram aplicadas 120 dias antes da semeadura da cultura da soja. O calcário utilizado foi do tipo dolomítico (CaO = 28,04%; MgO =16,76%) com 91,22% de poder de neutralização e 73,96% de poder relativo de neutralização total. Antes da aplicação do calcário, foi realizada a demarcação da área das parcelas em cada bloco dentro e fora da reboleira. O calcário foi aplicado de forma manual em cada parcela com auxílio de uma bandeja de fibra com dimensões de 60 cm de comprimento, 50 cm de largura e 15 cm de altura. A bandeja foi perfurada no fundo com furos de 2 cm de diâmetro, imitando o método de “distribuição por gravidade” (NETO, OLIVEIRA & CABELEIRO, 2008), que diminui perdas pela ação do vento e deposita as partículas o mais próximo possível do solo.

As aplicações de calcário foram realizadas nos dias 4, 5, 6 e 7 de agosto de 2020 para o Nitossolo, Cambissolo Tb, Argissolo e Cambissolo Ta, respectivamente. O calcário foi aplicado primeiramente na área fora da reboleira e, posteriormente, foi aplicado dentro da reboleira para evitar contaminação com inóculo de *R. solani*. Antes de iniciar uma nova aplicação de calcário em outro campo, a lavagem dos implementos foi realizada com jato de pressão de água.

Depois da aplicação de metade da dose de calcário, com auxílio de um trator agrícola foi realizada a aração do solo na camada de 20 cm com um arado de três discos de 28 polegadas, onde o solo através da força de rotação dos discos dispostos em ângulo vertical e lateral, rompe as camadas fazendo a inversão delas (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984). Em seguida, foi realizada a aplicação da segunda metade da dose de calcário sobre o solo revolvido e em seguida foi realizada a aração do solo com uma grade pesada no formato em V sendo 20 discos de 28 polegadas, onde há a inversão, mas não ocorre o tombamento abrupto das camadas de solo (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984). Para finalizar e nivelar os campos, foi utilizada uma grade com 32 discos de 20 polegadas em forma de V, sendo a profundidade de trabalho de até 10 cm reguladas no ângulo dos discos, de forma a nivelar e destorroar fazendo a mistura do solo para uma maior homogeneização. Em seguida, foram semeados centeio (*Secare cereale* L.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) para cobertura do solo.

4.3.4 Cultura da soja

A cobertura vegetal do solo de cada campo foi dessecada com aplicação de herbicidas de forma sequencial. A primeira aplicação de herbicida (Tabela 8) ocorreu aos 40 dias antes da semeadura da soja e a segunda aplicação foi efetuada aos 10 dias antes da semeadura da soja. As aplicações foram realizadas de forma terrestre utilizando um pulverizador autopropelido (Jan Power Jet), com ponta de jato plano e vazão de 130 L ha⁻¹. A cultivar de soja ‘DM5958 RSF IPRO’ foi semeada no dia 9 nos campos com Cambissolo Tb e Argissolo, no dia 10 para o Cambissolo Ta e no dia 11 de dezembro de 2020 no Nitossolo. A densidade utilizada foi de 18 sementes por metro linear. A adubação de base utilizada foi de 350 kg.ha⁻¹ do fertilizante formulado 03-21-21 (N-P₂O₅-K₂O).

Nos estádios de três folhas trifoliadas expandidas (V3) e seis folhas trifoliadas expandidas (V6) foi realizada a aplicação do herbicida glifosato para controle de plantas daninhas. Os produtos, doses e datas de aplicação de fungicidas para controle de doenças foliares sobretudo ferrugem-asiática assim como aplicações de inseticidas para controle de percevejos, lagartas, ácaros e tripses estão descritos na Tabela 8. As aplicações foram realizadas com pulverizador terrestre autopropelido (Jan Power Jet), com ponta de jato do tipo cone vazio com produção de gotas finas e vazão de 170 L ha⁻¹.

4.3.5 Avaliação da doença

A incidência de plantas sintomáticas com podridão radicular de *Rhizoctonia* foi efetuada aos 35, 49, 63, 77, 84, 91, 98 e 105 dias após a semeadura. Os sintomas eram caracterizados por folhas amareladas com aspecto de necrose, leve murcha com encarquilhamento das bordas do limbo foliar, coloração pardo-avermelhado na região do colo com manchas rosas-arroxeadas (Figura 17). Os dados de incidência (%) foram utilizados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de acordo com a seguinte equação (CAMPBELL & MADDEN, 1990):

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Tabela 8 - Acaricidas, fungicidas, herbicidas e inseticidas usados no experimento

Data de aplicação	Estádio fenológico	Produto comercial	Classe	Ingrediente ativo	Dose (L ou kg ha ⁻¹)
30/10/2020	Dessecação	Crucial	Herbicida	Glifosato	3,0
29/11/2020	Dessecação	Gramocil	Herbicida	Diuron + Paraquate	2,0
25/11/2020	Tratamento de sementes	Apron RFC	Fungicida	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,12
25//11/2020	Tratamento de sementes	Terra Forte	Herbicida	Fipronil	0,12
30/12/2020	V3	25Crucial	Herbicida	Glifosato	2,0
20/01/2021	V6				
30/12/2020	V3	Dimilin	Inseticida	Diflubenzurom	0,1
20/01/2021	R1				
06/02/2021	R3				
22/02/2021	R5.1				
30/12/2020	V3	Premio	Inseticida	Clorantraniliprole	0,1
20/01/2021	V6				
20/01/2021	V6	Aproach Prima	Fungicida	Picoxistrobina + Ciproconazole	0,3
08/03/2021	R5.1				
06/02/2021	R1	Fox	Fungicida	Trifloxistrobina + Protioconazol	0,4
22/02/2021	R3	Vessarya	Fungicida	Picoxistrobina + Benzovindiflupir	0,8
08/03/2021	R5.1				
20/03/2021	R5.5	Versatilis	Fungicida	Fenpropimorfe	0,5
06/02/2021	R1	Unizebe Gold	Fungicida	Mancozebe	1,5
22/02/2021	R3				
08/03/2021	R5.1				
20/01/2021	V6	Abamectin 72 EC	Acaricida	Abamectina	0,2
22/02/2021	R3	Perito 970 SG	Inseticida	Acefato	1,0
08/03/2021	R5.1	Talisman	Inseticida	Bifentrina + Carbossulfano	0,25

Seis plantas de soja com sintomas de podridão radicular de *Rhizoctonia* foram coletadas na segunda linha da unidade experimental nos estádios de início do florescimento (R1) e início da formação e enchimento de grãos (R5) o que ocorreu aos 55 e 95 dias após a semeadura, respectivamente. As plantas foram coletadas com raízes e, em seguida, as folhas foram retiradas com auxílio de uma tesoura. As plantas de soja foram lavadas com água corrente para retirada do excesso de solo presente nas raízes e região do colo e, posteriormente, foram deixadas para secar em uma bancada em temperatura ambiente. As plantas foram encaminhadas para o Laboratório de Fitopatologia da Universidade de Passo Fundo para isolamento do patógeno.

As plantas foram lavadas com detergente neutro e água corrente. Em seguida, um fragmento de aproximadamente 1 cm de comprimento de cada planta foi obtido da haste na região do colo, os quais foram cortados na região de transição entre a lesão e o tecido aparentemente sadio. Os fragmentos foram submetidos à desinfestação superficial por 1 minuto em solução de 1% de hipoclorito de sódio seguido por dois enxágues em água destilada e esterilizada. Após secagem por 30 minutos sobre papel toalha, os fragmentos foram plaqueados em meio de cultura batata-sacarose-ágar (BSA: 200 g L⁻¹ de batata; 20 g L⁻¹ de sacarose; 12 g L⁻¹ de ágar; 0,2 g L⁻¹ de sulfato de estreptomicina). As placas de Petri foram incubadas em câmara de crescimento a 25 °C com fotoperíodo de 12 horas por 5 dias. A identificação dos fungos foi efetuada por análise visual da morfologia do crescimento micelial a partir de cada fragmento. Os dados foram expressos como frequência absoluta (Figura 27 - 28).

4.3.6 Componentes de produtividade

No estádio de início da maturação fisiológica (R7), o que ocorreu aos 105 dias após a semeadura, foi realizada a contagem de plantas de soja na área útil da parcela para determinação da densidade final em plantas por metro. Em estádio de maturidade completa (R8) aos 140 dias após a semeadura, foi efetuada a colheita de cada unidade experimental considerando a terceira e a quarta linha de semeadura. A colheita foi realizada de forma manual com o uso de uma foicinha serrilhada com lâmina de corte curvada de ferro e cabo de madeira. Em seguida, as plantas foram trilhadas em um batedor

(Nogueira BC80) acoplado na tomada de potência de um trator agrícola com rotor-axial com rotação de 800 rpm, fazendo a debulha e posterior separação pelas peneiras.

Os grãos obtidos foram pesados e a umidade determinada em porcentagem com medidor Multigrain. Os valores de produtividade foram expressos em kg ha⁻¹ com a umidade dos grãos corrigida para 13%. Uma amostra de grãos de 500 g foi utilizada para determinar o peso de mil grãos (g). Ainda no estádio R8, dez plantas foram colhidas na segunda linha da unidade experimental para determinar a altura (cm) de planta, altura (cm) de inserção da primeira vagem, número de ramos por planta, número de nós por planta, número de nós férteis por planta, número de vagens por planta e número de grãos por planta. A média das dez plantas foi considerada para análise estatística.

4.3.7 Análise estatística

Uma análise preliminar dos dados foi realizada com gráficos de caixa e histogramas para verificar a presença de valores discrepantes e a distribuição dos dados, respectivamente. Modelos lineares mistos foram utilizados para analisar os dados onde classe de solo, local no campo e dose de calcário foram considerados como efeitos fixos, ao passo que, bloco aninhado dentro de classe de solo foi considerado como efeito aleatório.

Os dados de produtividade, altura de planta, número de nós por planta, número de nós férteis por planta, peso de mil grãos e plantas por metro foram analisadas sem transformação dos dados e assumindo uma distribuição normal dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Em função da distribuição dos dados e violação da normalidade de resíduos, modelos generalizados mistos foram utilizados para análise das demais variáveis. A distribuição de Poisson foi estabelecida para as variáveis discretas com assimetria à direita, sendo o número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por planta, incidência de podridão radicular de Rhizoctonia e AACPD. Para a altura de inserção da primeira vagem foi estabelecida a distribuição Gama, uma vez que, é uma variável contínua que apresentou assimetria à direita.

As médias ajustadas (*lsmeans*) foram obtidas e utilizadas para comparação dos efeitos principais dos fatores fixos qualitativos (classe de solo e local no campo) por meio do teste de Tukey a 5% de nível de significância. Modelos polinomiais de primeiro ou segundo grau foram ajustados para o fator quantitativo (dose de calcário). As funções '*lmer*' e '*glmer*' do pacote '*lme4*' foram utilizadas para análise com modelos mistos e modelos mistos generalizados, respectivamente. As médias ajustadas foram obtidas com o pacote '*lsmeans*' e as regressões polinomiais foram obtidas com a função '*lm*' no software RStudio versão 1.1.463 (R CORE TEAM, 2020). O conjunto de dados e os códigos para análise estatística estão disponíveis em Mendeley Data (DOI: 10.17632/h6v8j338ds.1).

Análises de componentes principais foram realizadas considerando as 11 variáveis para cada campo separadamente. Os dados de cada variável foram padronizados de forma que a média e a variância tivessem valores de 0 e 1, respectivamente. A quantidade de informações relevantes no conjunto de dados foi condensada em menor número de dimensões (HAIR et al., 2009) considerando os componentes principais com autovalores igual ou superior a 1 (KAISER, 1958). As análises foram realizadas com o pacote '*factoextra*' no RStudio versão 1.1.463 (R CORE TEAM, 2020).

A análise de trilha foi realizada a partir da matriz de correlações fenotípicas considerando a produtividade como variável dependente e as demais variáveis como explicativas. Identificada a presença de multicolinearidade para as doses de calcário, procedeu-se com a análise trilha sob multicolinearidade com posterior ajuste do fator *k* aos elementos da diagonal da matriz de correlação (CRIS & CARNEIRO, 2006). As análises foram conduzidas com o programa Genes (CRUZ, 2013).

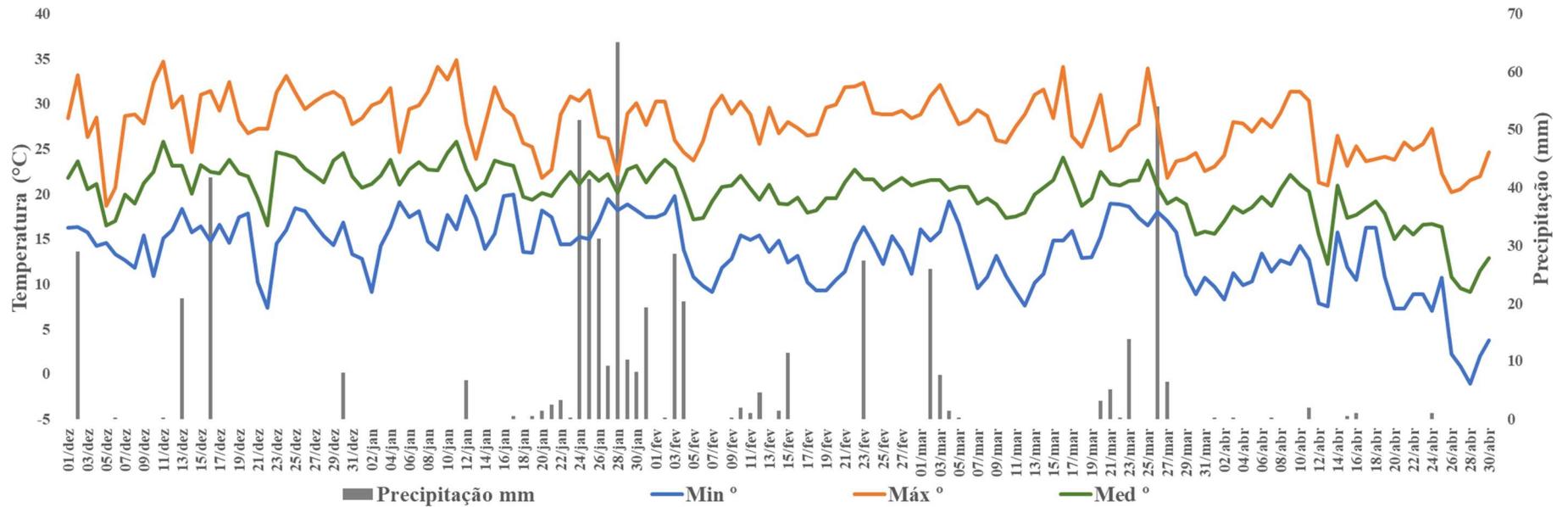
4.4 Resultados

As condições ambientais durante o período do experimento tiveram uma variação de temperatura entre 7,3 e 34,8 °C (Figura 23). O acumulado de precipitação durante o período foi de 572 mm. Precipitações elevadas foram observadas no final de janeiro e início de fevereiro que correspondeu ao início do estágio reprodutivo da cultura da soja.

Assim, verificou-se que o ambiente apresentou condições favoráveis para ocorrência da doença.

A partir dos resultados da análise de variância (Tabela 9), foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) do campo para produtividade, número de plantas por metro, altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de nós por planta e número de nós férteis por planta. O local no campo apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) sobre todas as variáveis com exceção do número de nós férteis e peso de mil grãos. O efeito da dose de calcário ($p < 0,05$) foi significativo para todas as variáveis com exceção de altura de planta e número de ramos por planta. Para a interação entre campo e local no campo houve efeito foi significativo ($p < 0,05$) para produtividade, plantas por metro, altura de planta, número de nós por planta, número de nós férteis por planta, número de vagens por planta e número de grãos por planta. Já para a interação entre campo e dose de calcário houve efeito ($p < 0,05$) sobre a incidência da doença, AACPD, produtividade, plantas por metro, altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta e número de grãos por planta. A interação entre local no campo x dose de calcário apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) apenas para o número de plantas por metro. Por fim, a interação tripla entre campo x local no campo x dose de calcário afetou ($p < 0,05$) o número de plantas por metro e o número de grãos por planta.

Figura 23 - Precipitação (mm) acumulada, temperatura (°C) mínima, média e máxima durante a condução do experimento de dezembro de 2020 a abril de 2021 no município de Soledade, Rio Grande do Sul, Brasil. Os dados foram obtidos da estação meteorológica Soledade/Toniolo-RS (ISOLED2). Rede de Monitoramento Climático Brasileiro (2021).



A incidência de podridão radicular de *Rhizcottonia* e a AACPD foram significativamente ($p < 0,05$) maiores dentro da reboleira comparado com o local fora da reboleira para todos os campos (Figura 24). Em média, a incidência da doença dentro da reboleira foi de 30, 37, 41 e 52% para o Nitossolo, Argissolo, Cambissolo Tb e Cambissolo Ta, respectivamente. Conseqüentemente, houve menor quantidade de plantas por metro dentro da reboleira do que fora da reboleira nos quatro campos.

A produtividade de soja, assim como o número de nós total por planta, foram significativamente reduzidos ($p < 0,05$) dentro da reboleira, com exceção do Nitossolo em que não foi observada diferença significativa entre os locais do campo (Figura 24). As plantas de soja apresentaram redução na altura quando localizadas dentro da reboleira para todos os campos, entretanto, houve maior altura de inserção da primeira vagem para as plantas dentro da reboleira para o Cambissolo Ta e o Nitossolo. Para nós férteis por planta não ocorreu diferença dentro e fora da reboleira. Apenas o Cambissolo Tb apresentou menor número de nós férteis dentro da reboleira, ao passo que não houve diferença significativa entre os locais para os demais campos (Figura 24).

Não houve diferença significativa do peso de mil grãos entre os locais em cada campo (Figura 24). Todavia, houve maior número de grãos por planta dentro da reboleira para o Argissolo, Cambissolo Ta e Nitossolo. Além disso, no Cambissolo Ta o número de vagens por planta e ramos por planta foram maiores dentro da reboleira, já para os demais campos não ocorreu diferença significativa entre os locais dentro e fora da reboleira.

Tabela 9 - Valores de probabilidade da análise variância para as variáveis avaliadas no experimento de acordo o campo, local no campo, dose de calcário e suas interações.

Fator de variação	Graus de liberdade	Incidência da doença (%)	Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Número de plantas por metro	Altura de planta (cm)	Altura de inserção de primeira vagem (cm)
Campo (C)	3	0,876	0,885	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Local no campo (L)	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose de calcário (D)	3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,949	0,049
C x L	3	1,000	1,000	<0,001	0,002	<0,001	0,625
C x D	9	0,045	<0,001	0,026	0,006	0,012	0,015
L x D	3	0,976	0,999	0,072	<0,001	0,678	0,412
C x L x D	9	1,000	1,000	0,255	0,017	0,325	0,873
Shapiro-Wilk	-	<0,01	<0,001	0,5738	0,108	0,626	0,089
Fator de variação	Graus de liberdade	Número de ramos por planta	Número de nós por planta	Número de nós férteis por planta	Número de vagem por planta	Número de grãos por planta	Peso de mil grãos (g)
Campo (C)	3	0,747	<0,001	<0,001	0,935	0,929	0,556
Local no campo (L)	1	0,018	<0,001	0,076	0,012	<0,001	0,509
Dose de calcário (D)	3	0,179	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C x L	3	0,062	<0,001	0,03	0,119	0,004	0,261
C x D	9	0,869	0,879	0,095	0,015	<0,001	0,098
L x D	3	0,747	0,889	0,691	0,567	0,343	0,135
C x L x D	9	0,974	0,106	0,678	0,42	0,006	0,115
Shapiro-Wilk	-	0,377	0,005	0,18	0,326	0,127	0,001

Figura 24 - Comparação do local no campo, dentro da reboleira (verde) e fora da reboleira (laranja), em cada classe de solo para cada variável avaliada no experimento. O asterisco (*) indica diferença significativa ($p < 0,05$) entre os locais. NS indica que não há diferença significativa ($p > 0,05$) entre os locais.

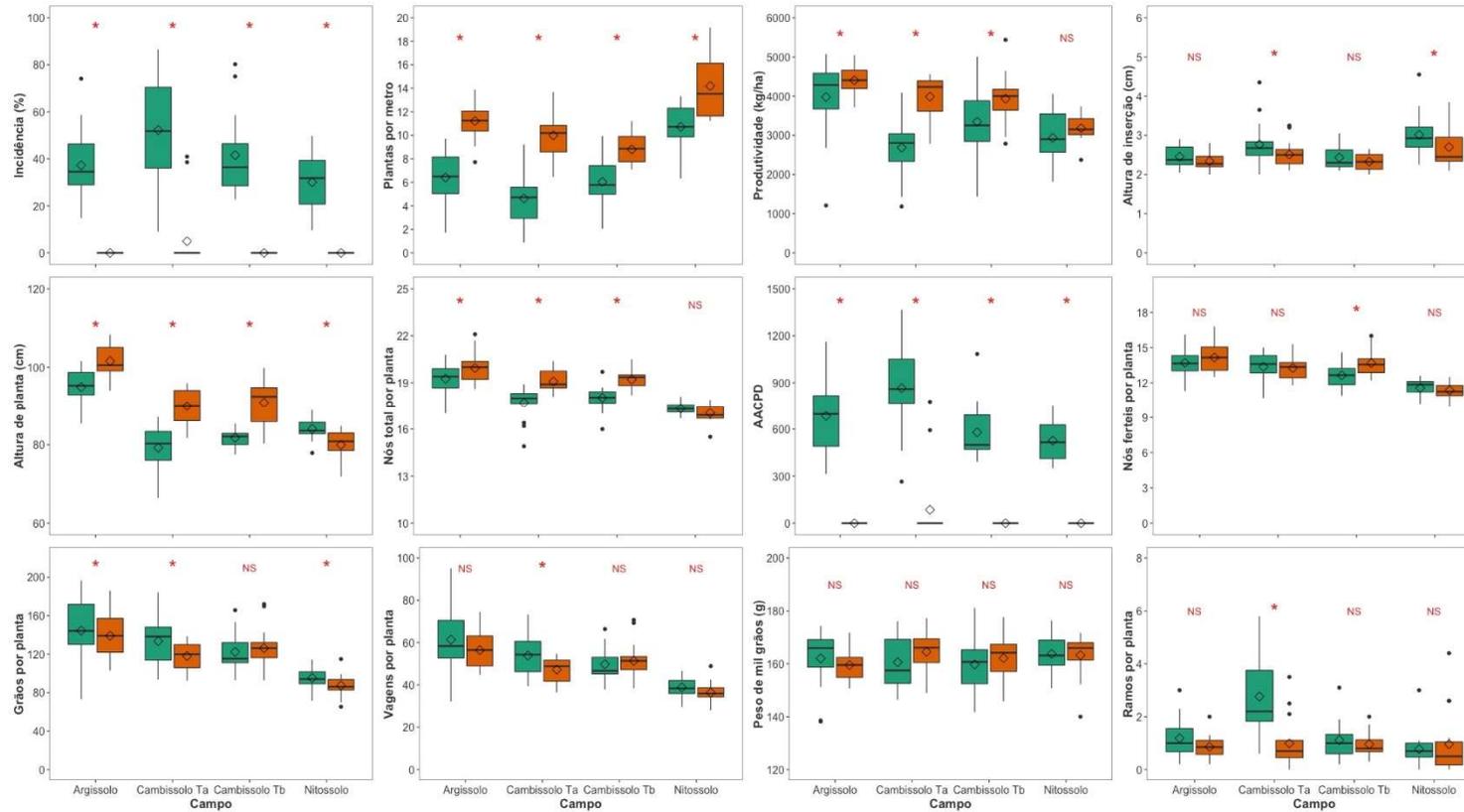
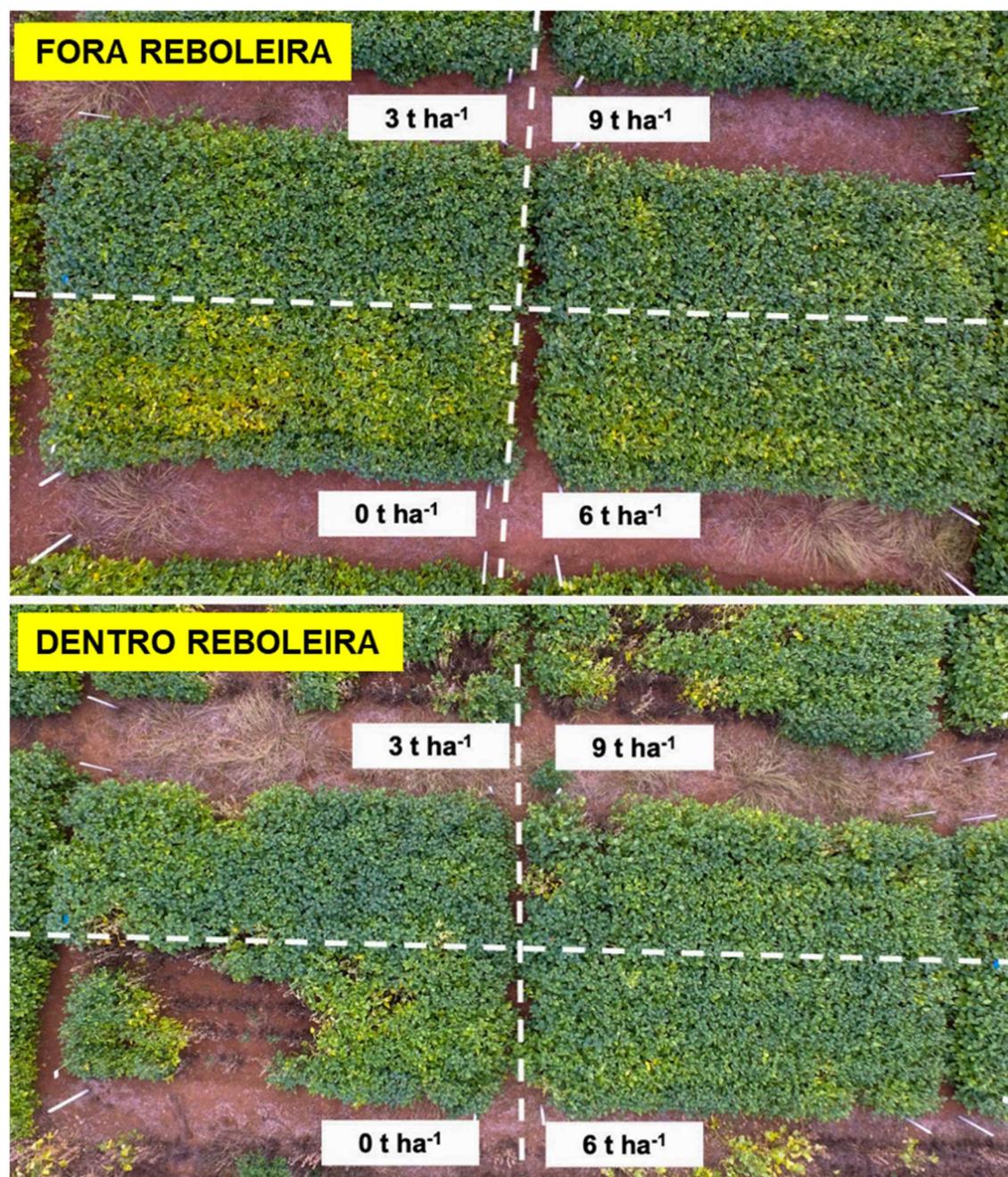


Figura 25 - Parcelas experimentais fora e dentro da reboleira com podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja campo Nitossolo. A linha pontilhada indica a divisão das parcelas que receberam diferentes doses de calcário em bloco.



Fonte: BALBINOTTI (2021)

O aumento da dose de calcário proporcionou redução linear significativa na incidência da doença e AACPD (Figura 25 - 26). Para cada tonelada de calcário aplicada, ocorreu redução de 3,86%, 3,67%, 3,57% e 1,83% na incidência da doença para os campos com Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo, respectivamente. Já

para a AACPD, a redução foi de aproximadamente 73, 68, 56 e 13 unidades para cada tonelada de calcário aplicada nos campos com Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo, respectivamente. O campo com solo do tipo Cambissolo Ta foi o único que apresentou incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* fora da reboleira e apresentou diminuição significativa de 1,34% na incidência da doença e de 24 unidades na AACPD com o aumento de cada tonelada de calcário.

A produtividade de soja apresentou resposta quadrática ao aumento da dose de calcário tanto para o campo com Argissolo quanto para o Nitossolo (Figura 26). Com base na equação de regressão, as doses de 6,6 e 6,2 t ha⁻¹ proporcionaram a maior produtividade de soja de 4713 e 3349 kg ha⁻¹ para o Argissolo e Nitossolo, respectivamente. No campo com Cambissolo Tb a resposta da produtividade foi linear positiva, com aumento de aproximadamente 172 kg ha⁻¹ de soja para cada tonelada de calcário aplicada. Por fim, no Cambissolo Ta não houve ajuste de um modelo de regressão significativo de acordo com o aumento da dose de calcário (Figura 26).

Para altura de planta (Figura 29), não foi ajustado um modelo de regressão significativo de acordo com as doses de calcário aplicadas para os campos Argissolo e Cambissolo Tb. Para o Cambissolo Ta, a altura de planta apresentou resposta quadrática ao aumento da dose de calcário, sendo que a maior altura de planta foi com a dose 2,2 t ha⁻¹ de calcário. O Nitossolo, por sua vez, apresentou resposta linear positiva da altura planta com o aumento da dose de calcário.

Figura 26 - Incidência (%) de podridão radicular de *Rhizoctonia*, área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e produtividade (kg ha⁻¹) de soja em função da dose de calcário (t ha⁻¹) para cada tipo de solo e cada local no campo (dentro da reboleira em verde e fora da reboleira em laranja). NS = modelo de regressão não foi significativo. As barras indicam o erro padrão da média

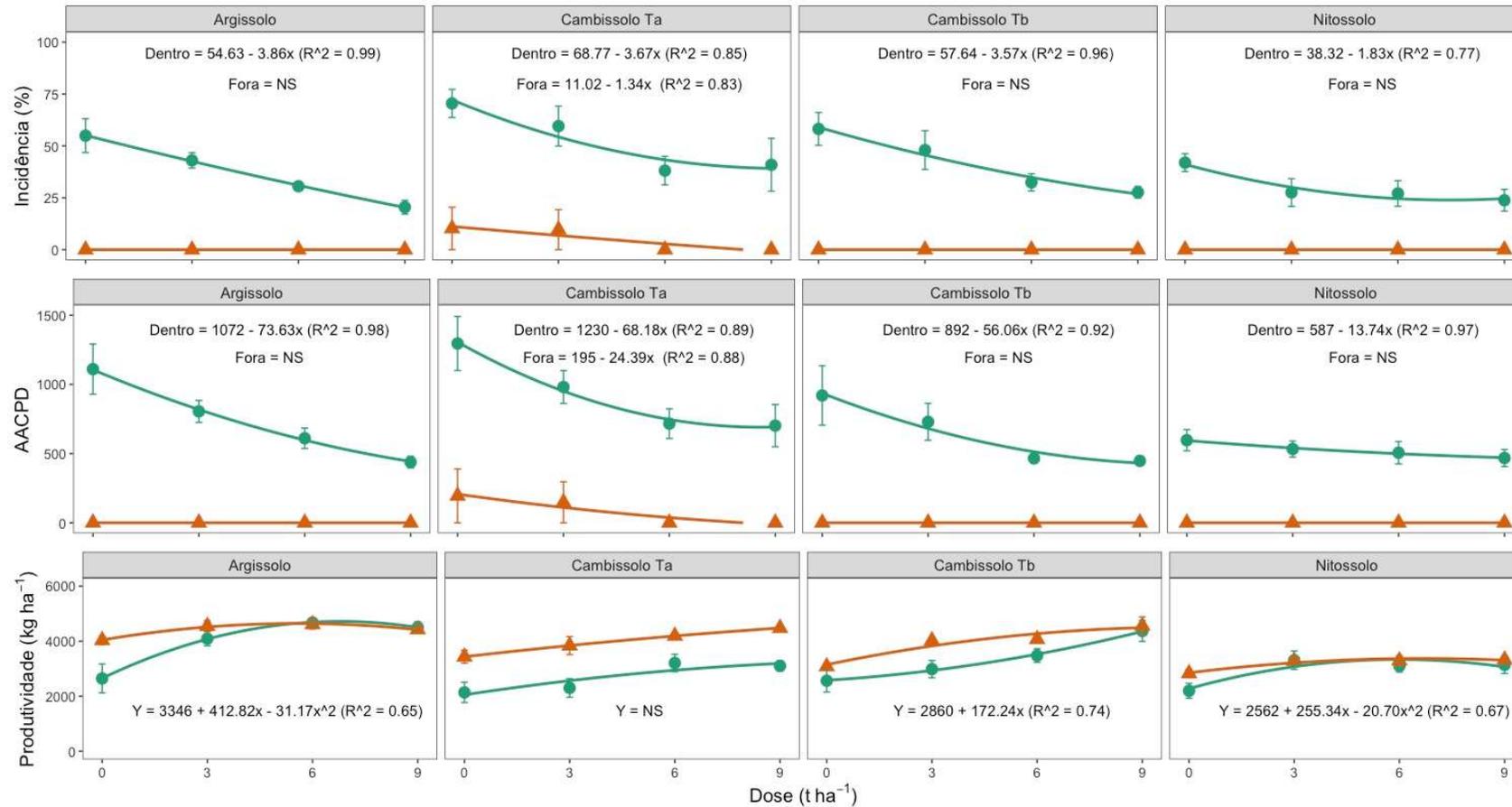


Figura 27 - Isolamento (%) de fungos de plantas de soja no início do florescimento (R1) para cada dose de calcário (0, 3, 6, 9 t ha⁻¹) aplicada dentro e fora da reboleira nos quatro campos com diferentes classes de solo (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo).

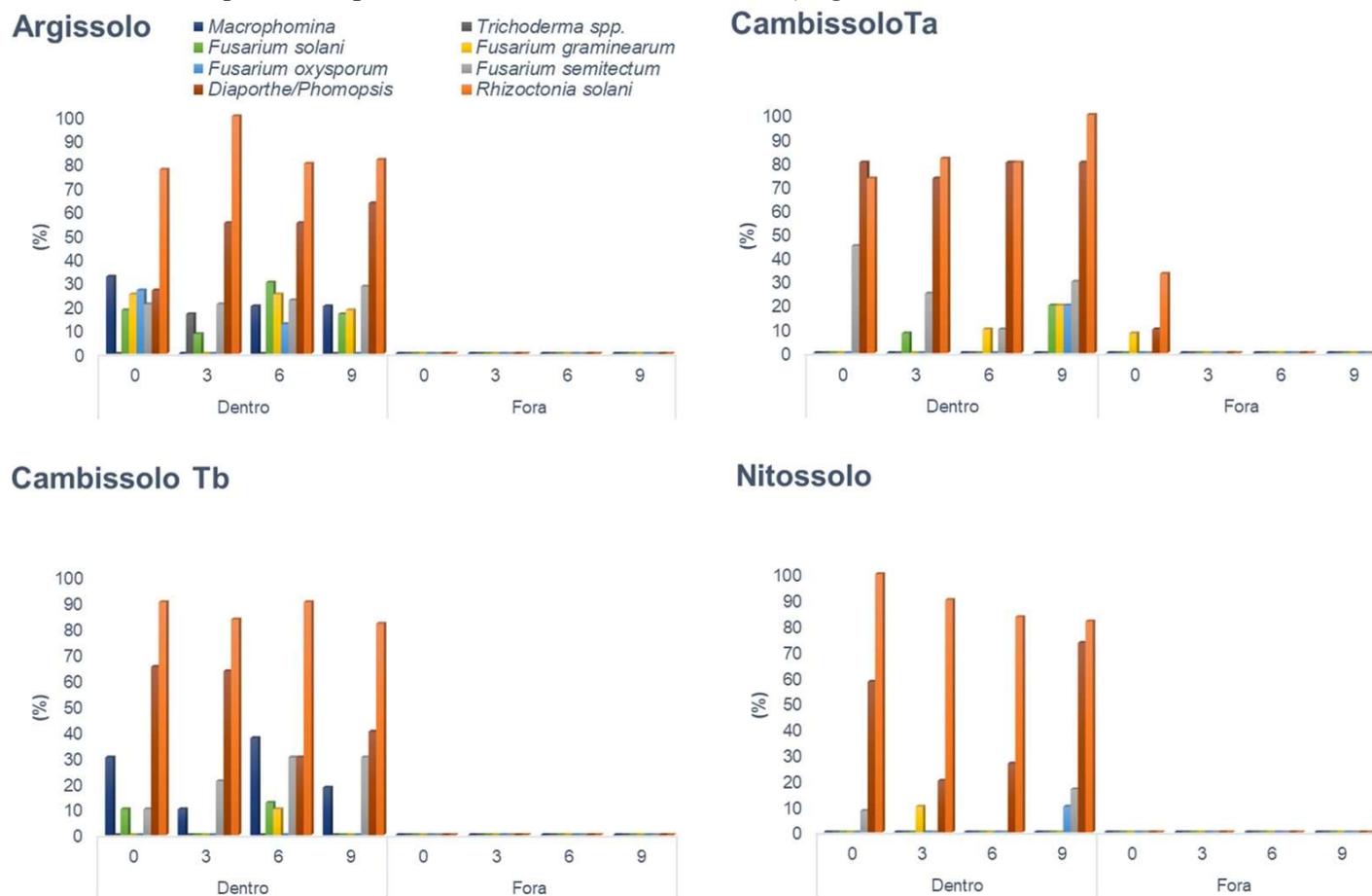
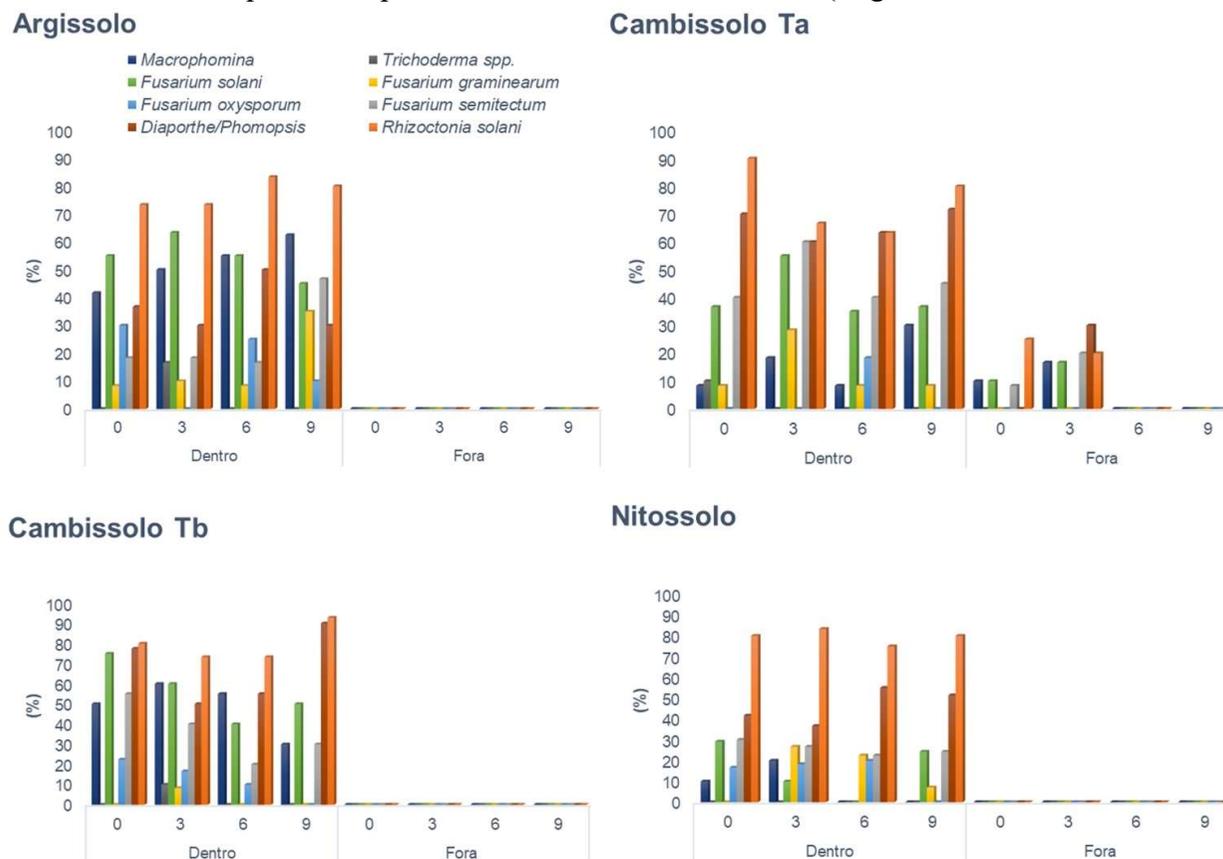


Figura 28 - Isolamento (%) de fungos de plantas de soja no estágio de enchimento de grãos (R5) para cada dose de calcário (0, 3, 6, 9 t ha⁻¹) aplicada dentro e fora do reboleira nos quatro campos com diferentes classes de solo (Argissolo, Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo)



A altura de inserção da primeira vagem (Figura 29), apresentou resposta quadrática de acordo com o aumento da dose de calcário para o Cambissolo Ta, Cambissolo Tb e Nitossolo com as maiores alturas proporcionadas pelas doses de 2,5, 3,0 e 5,8 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Para número de ramos por planta (Figura 29), não houve ajuste de modelos de regressão em função da dose de calcário em nenhum dos quatro campos avaliados.

O número de plantas por metro não foi alterado em função das doses de calcário aplicadas nos quatro campos considerando o local fora da reboleira (Figura 30). Entretanto, para o Argissolo e o Cambissolo Tb dentro da reboleira, ocorreu aumento na quantidade de plantas por metro de forma linear com o incremento nas doses de calcário. Para o Cambissolo Ta e Nitossolo, houve resposta quadrática para o número de plantas por metro.

O número de nós totais e número de nós férteis por planta apresentaram aumento linear em função das doses de calcário para os campos Argissolo e Cambissolo Tb (Figura 30). Todavia, para o Cambissolo Ta ocorreu uma resposta quadrática do número de nós por planta ao passo que houve aumento linear na quantidade de nós férteis por planta. Já para o Nitossolo em ambas as variáveis, número de nós total e número de nós férteis, a resposta ao aumento da dose de calcária foi quadrática.

O número de vagens por planta aumentou de forma linear em função da dose de calcário para os campos Cambissolo Ta e Cambissolo Tb, entretanto, para o Nitossolo não apresentou um modelo de regressão significativo. Já para o Argissolo a resposta foi quadrática com maior quantidade de vagens por planta na dose de 6,2 t ha⁻¹.

Figura 29 - Altura de planta (cm), altura de inserção da primeira vagem (cm) e número de ramos por planta de soja em função da dose de calcário (t ha⁻¹) para cada tipo de solo e cada local no campo (dentro da reboleira em verde e fora da reboleira em laranja). NS = modelo de regressão não foi significativo. Os modelos foram ajustados com as médias dos dados de dentro e de fora da reboleira. As barras indicam o erro padrão da média

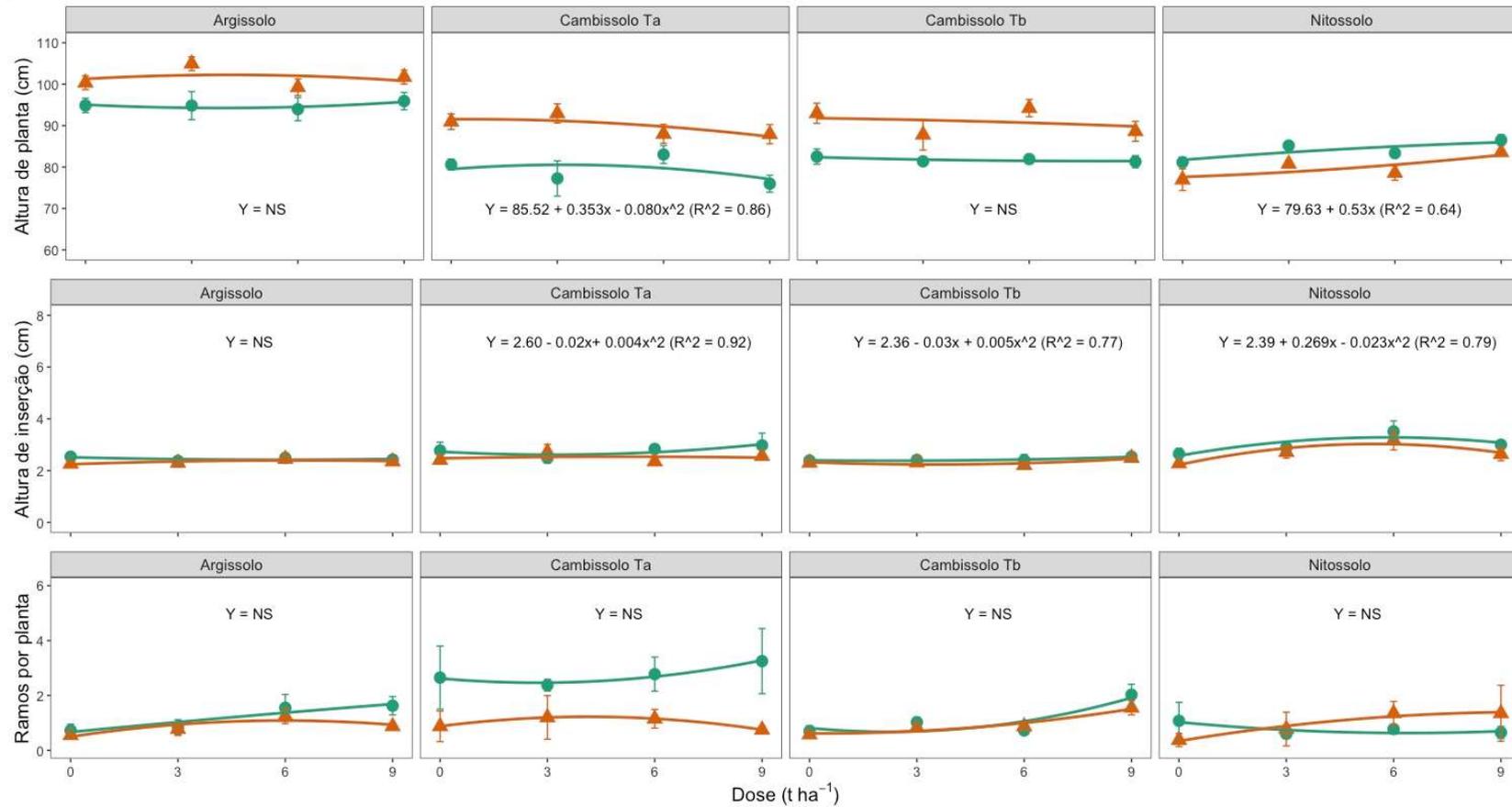
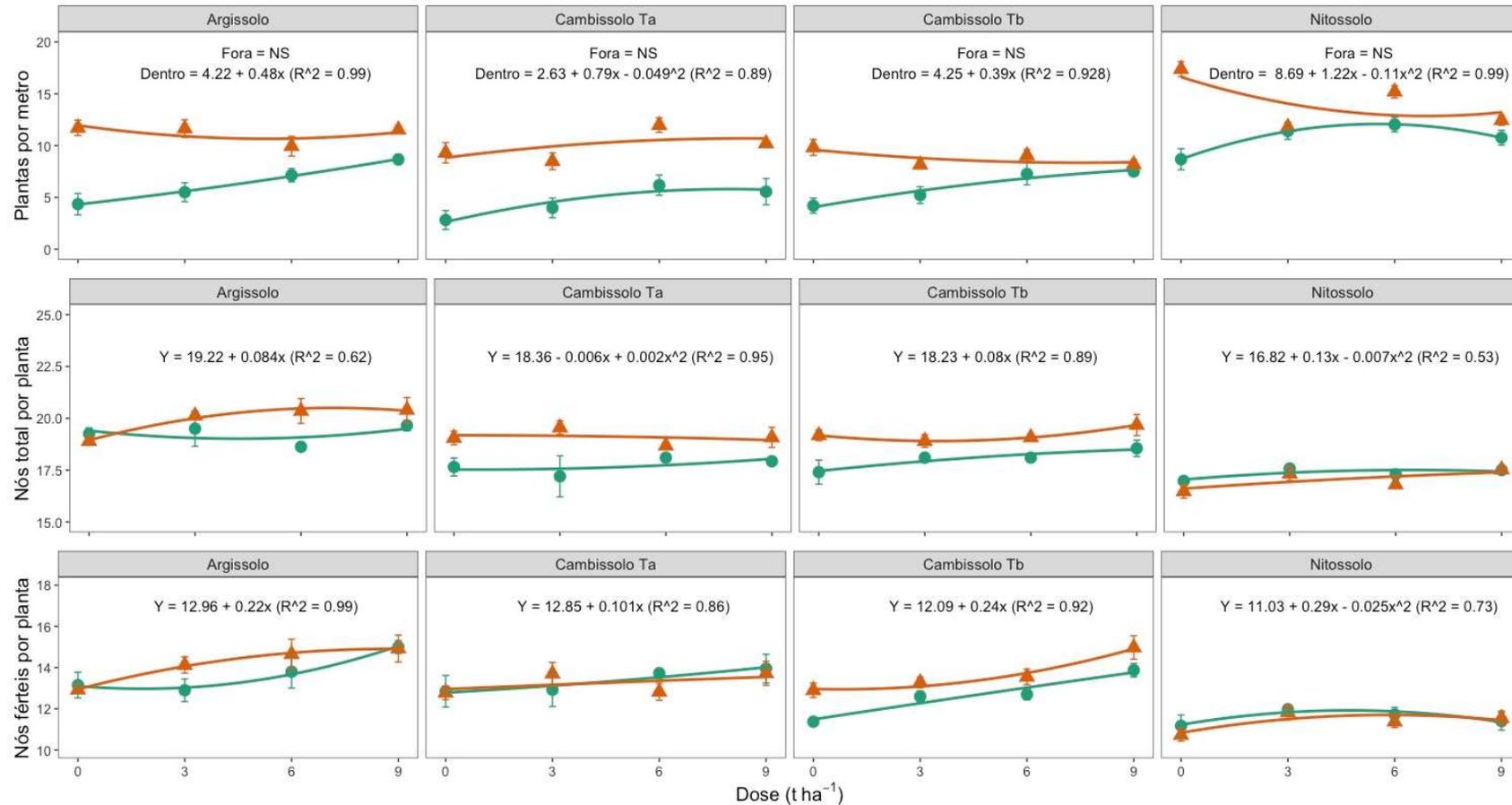


Figura 30 - Número de plantas, número de nós total por planta e número de nós férteis por planta em função da dose de calcário ($t\ ha^{-1}$) para cada tipo de solo e local no campo (dentro da reboleira em verde e fora da reboleira em laranja). NS = modelo de regressão não foi significativo. Os modelos para número de nós total e nós férteis por planta foram ajustados com as médias dos dados de dentro e de fora da reboleira. As barras indicam o erro padrão da média



O número de grãos por planta (Figura 31) apresentou resposta quadrática ao aumento da dose de calcário para todos os campos dentro da reboleira. Todavia, para o local fora da reboleira a resposta às doses de calcário foi variável dependendo do campo. Para o Argissolo e Nitssolo equações quadráticas foram ajustadas com maior número de grãos por planta com aplicação de 5,2 e 6 t ha⁻¹ de calcário. Entretanto, no Cambissolo Ta e Cambissolo Tb a resposta foi linear positiva com aumento de 3,0 e 5,21 grãos por planta para cada tonelada de calcário aplicada, respectivamente.

O peso de mil grãos (Figura 31) aumento de forma linear em 3,51 g e 5,27 g para cada tonelada de calcário aplicada no Cambissolo Ta e Cambissolo Tb, respectivamente. Todavia, para o Argissolo a resposta foi quadrática com maior peso de mil grãos com aplicação de 6,1 t ha⁻¹ de calcário. O Nitossolo, por sua vez, não apresentou resposta significativa do peso de mil grãos ao aumento da dose de calcário.

Com base nos resultados da análise de componentes principais (Figura 32 - 35) foi possível observar que em todos os campos houve uma separação das elipses correspondentes aos locais dentro e fora da reboleira.

No campo com solo do tipo Argissolo (Figura 32), na ausência de calcário a variância total explicada pelos dois primeiros componentes principais foi de 73,1% com 42,4% para o componente principal 1 (CP1) e 30,7% para o componente principal 2 (CP2). As variáveis mais correlacionadas com a reboleira foram a incidência de PRR, AACPD, altura de inserção de primeira vagem, número de nós totais e número de nós férteis por planta. Na dose de 3 t ha⁻¹, além das variáveis relacionadas à doença (incidência e AACPD), o número de ramos por planta foi a variável mais correlacionada com a reboleira. Entretanto, nas doses de 6 t ha⁻¹ e de 9 t ha⁻¹, as variáveis número de nós férteis, número de grãos e número de vagens por planta assim como altura de inserção e número de ramos foram as variáveis mais correlacionadas com a reboleira.

No campo com classe de solo Cambissolo Ta a variância total explicada foi de 76,7 para CP1 e 79,5% para CP2 com a dose de 3 t ha⁻¹ (Figura 33). Dentro da reboleira a maior variação foi explicada pela incidência, AACPD e número de ramos. Nas doses de 6 e 9 t ha⁻¹, além dessas variáveis, se destacaram o número de grãos, o número de

vagens e a altura de inserção. O CP1 correspondeu a 57,9 e 56,9%, e o CP2 a 19,0 e 25,9% da variância total, para 6 e 9 t ha⁻¹ respectivamente (Figura 33).

No campo com Cambissolo Tb (Figura 34), para todas as doses de calcário, a incidência e a AACPD relacionaram-se diretamente com o tratamento dentro da reboleira. Na dose de 3 t ha⁻¹, além das variáveis relacionadas à doença, o número de ramificação também se correlacionou com a reboleira. Já as variáveis que mais contribuíram na variação fora da reboleira foram: nós totais e nós férteis, altura de planta, número de plantas e produtividade. A maior variância total observada foi obtida pela dose de 3 t ha⁻¹, um total de 82,6% sendo 54,9% para o CP1 e 27,7% para o CP2.

A variação fora da reboleira no Nitossolo foi determinada pela produtividade e pelo número de plantas (Figura 35). Assim como nos demais campos, nessa classe de solo as variáveis incidência e AACPD estão correlacionadas com as áreas dentro da reboleira, mas é observada a contribuição de outras variáveis, como a altura de planta, nós totais em todas as doses, nós férteis apenas nas parcelas com calcário e altura de inserção, número de grãos, número de vagens para 3 e 9 t ha⁻¹ de calcário. O PMG explicou a variação dentro da reboleira para todas as doses, com exceção de 6 t ha⁻¹, onde está situado na elipse da dose fora da reboleira. Nesta classe de solo a maior variância total foi de 78%, para a dose sem calcário, sendo deste percentual, 55,4% proveniente do CP1 e 22,6% do CP2.

Figura 31 - Número de vagens por planta, número de grãos por planta e peso de mil grãos (g) de soja em função da dose de calcário (t ha⁻¹) para cada tipo de solo e cada local no campo (dentro da reboleira em verde e fora da reboleira em laranja). NS = modelo de regressão não foi significativo. Os modelos para número de vagens e peso de mil grãos foram ajustados com as médias dos dados de dentro e de fora da reboleira. As barras indicam o erro padrão da média

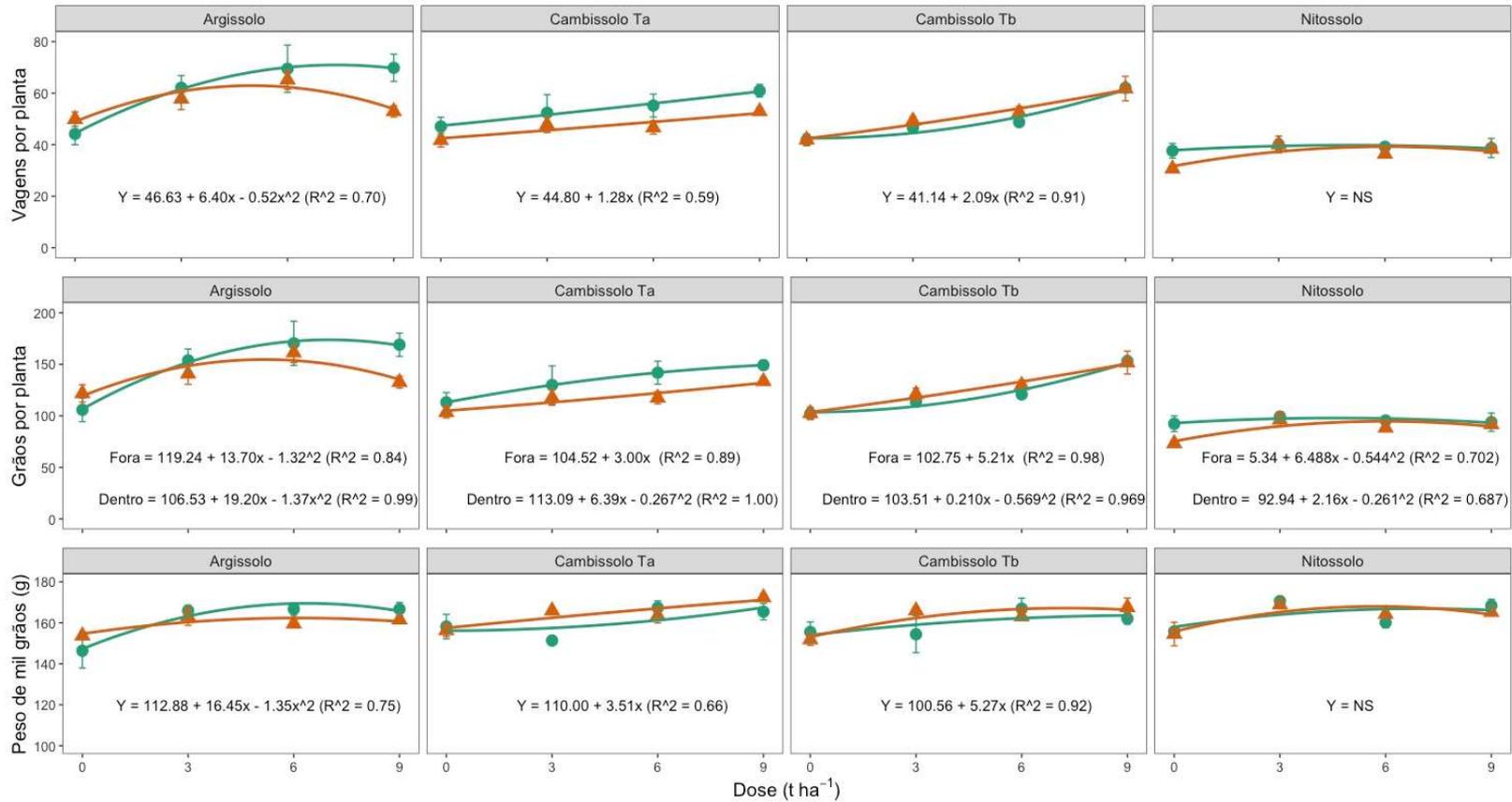


Figura 32 - Biplot dos componentes principais das variáveis avaliadas em um campo com solo do tipo Argissolo com doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) aplicadas dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. PROD = Produtividade (kg ha⁻¹); INC = incidência (%) da doença; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; ALTPL = altura (cm) de planta; ALTINS = altura (cm) de inserção da primeira vagem; RAM = número de ramos por planta; VAGENS = número de vagens por planta; GRAOS = número de grãos por planta; PMG = peso de mil grãos (g); NOSF = número de nós férteis por planta; NOST = número de nós totais por planta; PLANTAS = número de plantas por metro linear.

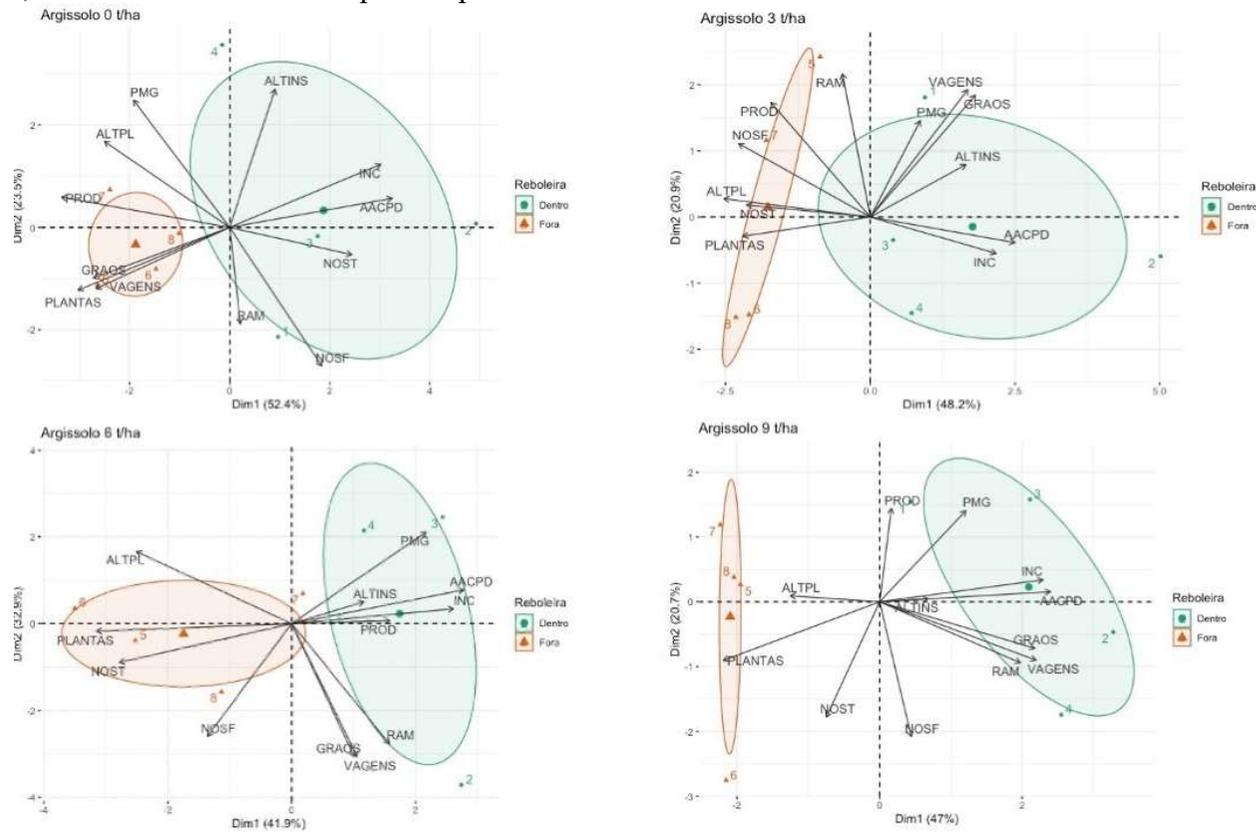


Figura 33 - Biplot dos componentes principais das variáveis avaliadas em um campo com solo do tipo Cambissolo Ta com doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) aplicadas dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. PROD = Produtividade (kg ha⁻¹); INC = incidência (%) da doença; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; ALTPL = altura (cm) de planta; ALTINS = altura (cm) de inserção da primeira vagem; RAM = número de ramos por planta; VAGENS = número de vagens por planta; GRAOS = número de grãos por planta; PMG = peso de mil grãos (g); NOSF = número de nós férteis por planta; NOST = número de nós totais por planta; PLANTAS = número de plantas por metro linear.

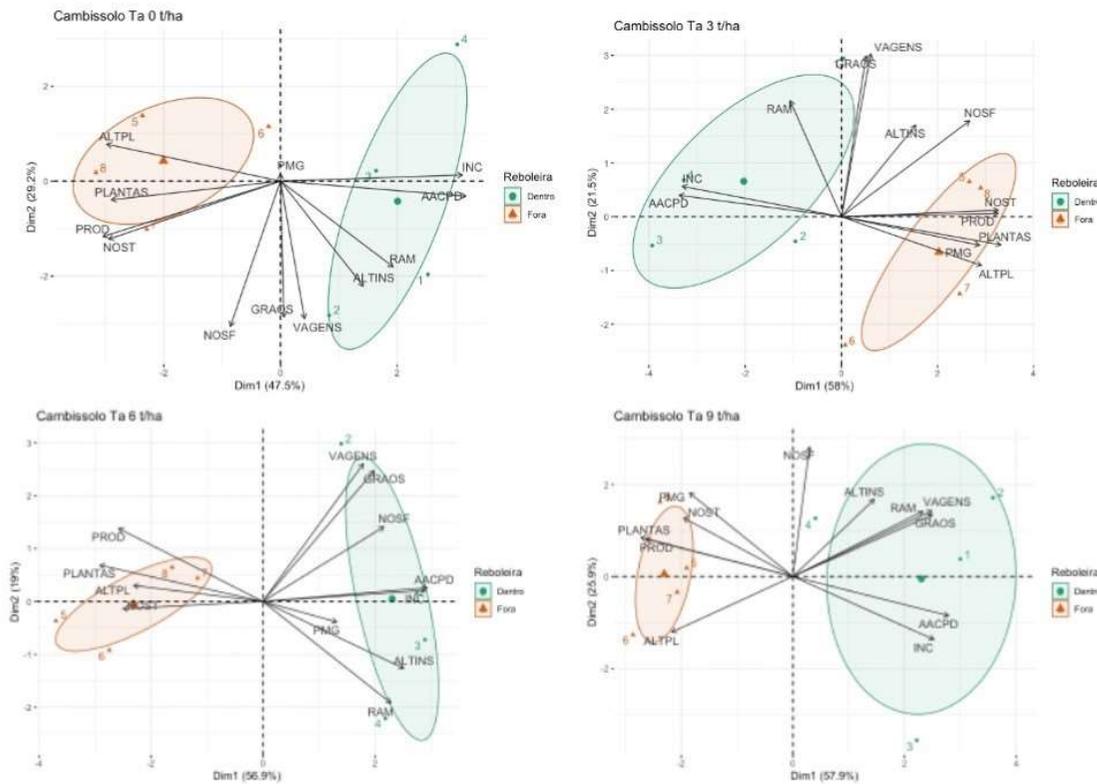


Figura 34 - Biplot dos componentes principais das variáveis avaliadas em um campo com solo do tipo Cambissolo Tb com doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) aplicadas dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. PROD = Produtividade (kg ha⁻¹); INC = incidência (%) da doença; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; ALTPL = altura (cm) de planta; ALTINS = altura (cm) de inserção da primeira vagem; RAM = número de ramos por planta; VAGENS = número de vagens por planta; GRAOS = número de grãos por planta; PMG = peso de mil grãos (g); NOSF = número de nós férteis por planta; NOST = número de nós totais por planta; PLANTAS = número de plantas por metro linear.

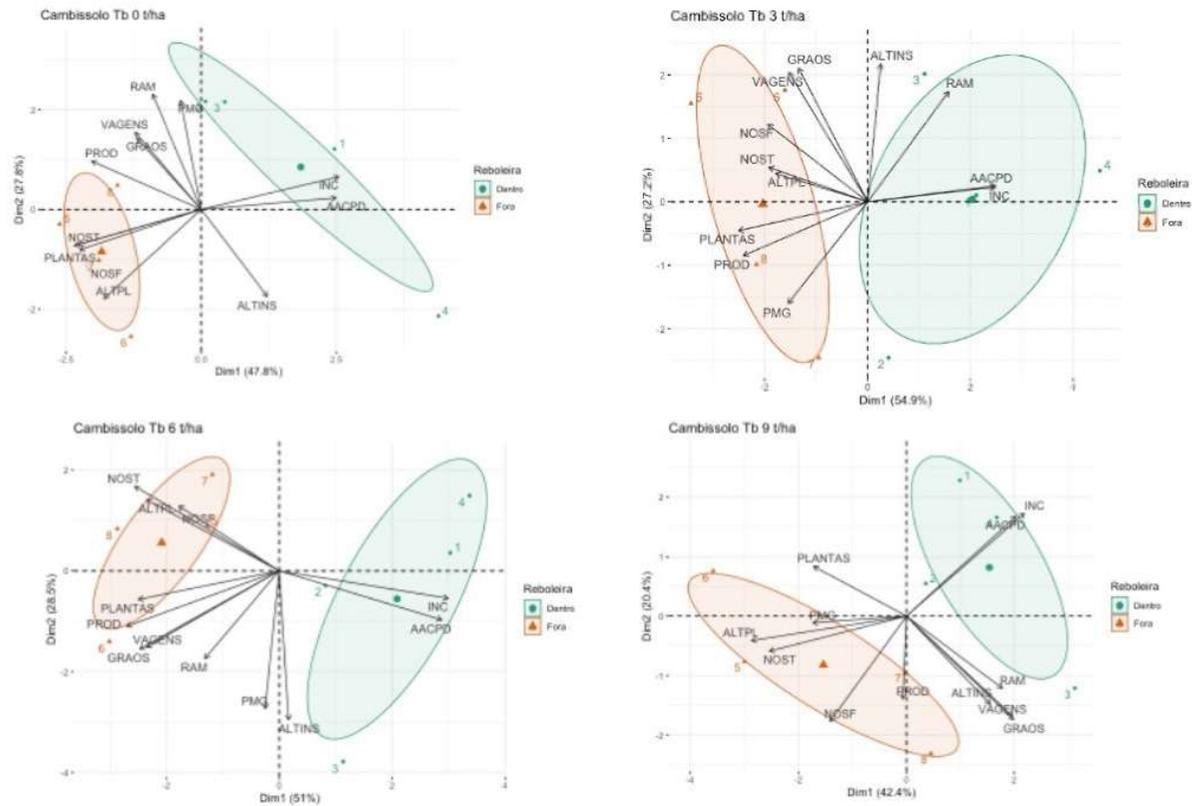
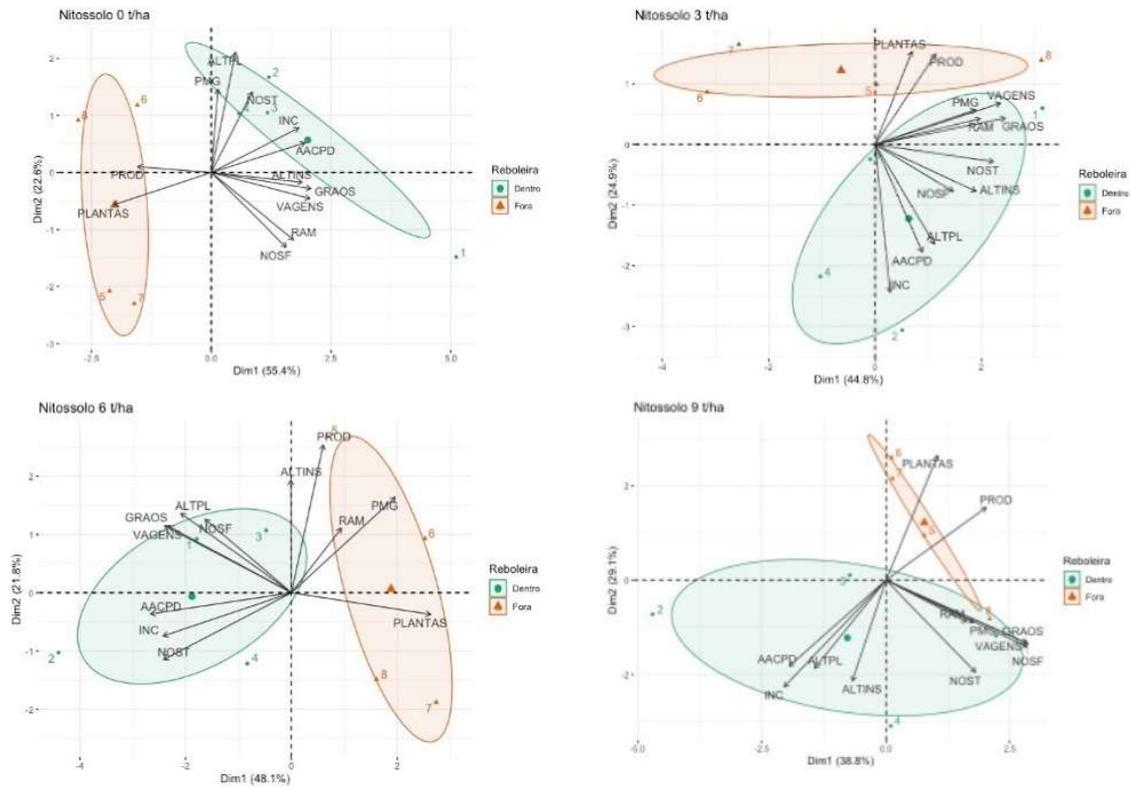


Figura 35 - Biplot dos componentes principais das variáveis avaliadas em um campo com solo do tipo Nitossolo com doses de calcário (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) aplicadas dentro e fora da reboleira com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em soja. PROD = Produtividade (kg ha⁻¹); INC = incidência (%) da doença; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; ALTPL = altura (cm) de planta; ALTINS = altura (cm) de inserção da primeira vagem; RAM = número de ramos por planta; VAGENS = número de vagens por planta; GRAOS = número de grãos por planta; PMG = peso de mil grãos (g); NOSF = número de nós férteis por planta; NOST = número de nós totais por planta; PLANTAS = número de plantas por metro linear.



Com base nos resultados da análise de trilha conjunta, as variáveis com maior efeito sobre a produtividade dentro da reboleira foram número de grãos por planta seguido de peso de 1000 grãos, número de vagens por planta e número de plantas por metro (Tabela 10). Por outro lado, fora da reboleira as variáveis com maior influência na produtividade foram número de ramos por planta, número de grãos por planta, número de vagens por planta e peso de 1000 grãos.

Identificou-se que o número de plantas por metro afetou indiretamente o número de vagens por planta, número de grãos por planta e peso de 1000 grãos tanto dentro como fora da reboleira (Tabela 10). Além disso, foram verificados efeitos negativos indiretos da altura de plantas em todas as outras variáveis dentro da reboleira, enquanto que fora da reboleira teve efeito positivo, exceto no número de plantas (Tabela 10). A altura de inserção da primeira vagem, o número de ramos por planta, o número de nós por planta e o número de nós férteis por planta tiveram efeitos negativos indiretos sobre o número de vagens e número de grãos por planta dentro e fora da reboleira. Além disso, o número de vagens por planta influenciou indiretamente o número de grãos por planta.

Tabela 10- Estimativa de efeitos fenotípicos diretos e indiretos a partir da análise conjunta de trilha para cada local dentro dos quatro campos avaliados neste estudo considerando a produtividade da soja como variável dependente.

Efeitos	Dentro	Fora	Efeitos	Dentro	Fora	Efeitos	Dentro	Fora
Direto de HPL	0.029	0.027	Direto do NTNPL	0.087	0.058	Direto de GRÃOS	0.171	0.179
Indireto através do HPL	-0.108	0.070	Indireto através do HPL	-0.027	0.027	Indireto por HPL	-0.021	0.027
Indireto através do NRPL	-0.094	0.306	Indireto através do	0.127	0.070	Indireto através do AIPV	0.152	0.069
Indireto através de NTNPL	-0.079	0.055	Indireta através do	0.103	0.309	Indireto através do NRPL	0.120	0.317
Indireta através do NNFPL	-0.089	0.101	Indireto através do	0.099	0.101	Indireto através de NTNPL	0.078	0.058
Indireto através de NVPL	-0.119	0.167	Indireto através de	0.149	0.168	Indireta através do NNFPL	0.096	0.100
Indireto através de GRÃOS	-0.122	0.178	Indireto através de GRÃOS	0.154	0.178	Indireto através de NVPL	0.166	0.169
Indireto através do PESO	-0.018	0.127	Indireto através do PESO	0.083	0.127	Indireto através do PESO	0.087	0.127
Indireto através de PLANTAS	-0.089	-0.062	Indireto através de PLANTAS	0.134	-0.062	Indireto através de PLANTAS	0.131	-0.060
Total	-0.686	0.974	Total	0.912	0.981	Total	0.987	0.998
Direto do AIPV	0.159	0.070	Direto do NNFPL	0.100	0.101	Direto do Peso	0.173	0.128
Indireto por HPL	-0.020	0.027	Indireto por HPL	-0.026	0.026	Indireto por HPL	-0.003	0.027
Indireto através do NRPL	0.129	0.310	Indireto através do AIPV	0.138	0.070	Indireto através do AIPV	0.039	0.070
Indireto através de NTNPL	0.069	0.059	Indireto através do NRPL	0.111	0.311	Indireto através do NRPL	0.018	0.314
Indireta através do NNFPL	0.087	0.101	Indireto através de NTNPL	0.086	0.058	Indireta através de NTNPL	0.041	0.058
Indireto através de NVPL	0.159	0.168	Indireto através de NVLP	0.158	0.168	Indireto através do NNFPL	0.049	0.101
Indireto através de GRÃO	0.164	0.179	Indireto através de GRÃOS	0.163	0.179	Indireto através de NVPL	0.078	0.169
Indireto através do PESO	0.044	0.127	Indireto através do PESO	0.085	0.128	Indireto através de GRÃOS	0.086	0.179
Indireto através PLANTAS	0.099	-0.061	Indireto através de PLANTAS	0.136	-0.061	Indireto através de PLANTAS	0.135	-0.061
Total	0.899	0.983	Total	0.957	0.986	Total	0.627	0.992
Direto de NRPL	0.129	0.319	Direto de NVPL	0.166	0.169	Direto de PLANTAS	0.157	-0.062
Indireto por HPL	-0.022	0.026	Indireto por HPL	-0.022	0.027	Indireto HPL	-0.017	0.027
Indireto através do AIPV	0.157	0.068	Indireto através do AIPV	0.153	0.070	Indireto através do AIPV	0.101	0.069
Indireto através de NTNPL	0.069	0.056	Indireto através do NRPL	0.122	0.316	Indireto através do NRPL	0.074	0.297
Indireto através do NNFPL	0.086	0.098	Indireto através de NTNPL	0.078	0.058	Indireto através de NTNPL	0.074	0.058
Indireto através de NVPL	0.155	0.168	Indireto através do NNFPL	0.096	0.100	Indireta através do NNFPL	0.087	0.099
Indireto através de GRÃOS	0.159	0.178	Indireto através de GRÃOS	0.171	0.179	Indireto através de NVPL	0.135	0.164
Indireto através do PESO	0.025	0.126	Indireto através do PESO	0.081	0.128	Indireto através de GRÃOS	0.143	0.174
Indireto através de PLANTAS	0.089	-0.057	Indireto através de PLANTAS	0.128	-0.060	Indireto através do PESO	0.149	0.125
Total	0.854	0.998	Total	0.981	0.997	Total	0.910	0.950

Dentro: Residual = 0,095; Coeficiente de determinação (R^2) = 0,998; valor de k = 0,056. Fora: Residual = 0,112; Coeficiente de determinação (R^2) = 0,987; valor de k = 0,056.

*HPL = altura da planta (cm); AIPV = altura (cm) de inserção da primeira vagem; NRPL = número de ramos por planta; NVPL = número de vagens por planta; GRÃO = número de grãos por planta; PESO = peso de 1000 grãos (g); NNFPL = número de nós férteis por planta; NTNPL = número total de nós por planta; PLANTAS = número de plantas por

4.5 Discussão

Neste estudo, quatro doses de calcário foram aplicadas em dois locais (ou seja, dentro e fora da reboleira) em quatro campos com diferentes classes de solo. Um dos locais dentro dos campos consistia em uma mancha com histórico de ocorrência de podridão radicular de *Rhizoctonia*. De modo geral, verificou-se diminuição na incidência da doença devido à calagem. A produtividade da soja também aumentou com a aplicação de calcário e os principais componentes de rendimento afetados foram o número de plantas por metro, número de vagens, grãos por planta e peso de 1000 grãos.

A AACPD é um resumo da intensidade da doença ao longo do tempo que permite a comparação de epidemias entre práticas de manejo, locais e anos (MENGISTUM et al., 2014; TWIZEYIMANA et al., 2011). A AACPD incorpora a intensidade inicial da doença (y_0), o parâmetro de taxa (r) e a duração das epidemias (MADDEN et al., 2006). Portanto, neste estudo, verificou-se que o início da detecção dos sintomas na parte área de podridão radicular de *Rhizoctonia* foi retardado pela calagem, o que afetou a duração da epidemia e, conseqüentemente, reduziu a incidência final da doença e a magnitude de seu efeito na produtividade da cultura da soja.

As parcelas sem calcário apresentaram plantas de soja com sintomas de podridão radicular de *Rhizoctonia* no início da floração com morte da planta no início da fase de enchimento de grãos. No entanto, nas parcelas que receberam calcário, principalmente nas doses de 6 e 9 t ha⁻¹, as plantas iniciam os sintomas no início da formação das vagens, com algumas plantas morrendo no estágio final de enchimento de grãos. Conseqüentemente, as plantas ainda poderiam translocar fotoassimilados para os grãos mesmo na presença da doença, o que refletiu na produtividade da soja por meio do aumento do peso de grãos.

A doença é resultado da interação entre um patógeno virulento, planta hospedeira suscetível e ambiente favorável (AGRIOS, 2005). As interações entre fatores abióticos e

bióticos na supressividade do solo a *R. solani* são complexas (GHINI & MORANDI 2006). O efeito da calagem na podridão radicular de *Rhizoctonia* pode ser resultado do aumento do pH do solo, neutralização do alumínio, do fornecimento de nutrientes como cálcio e magnésio ou ambos.

Em relação ao ambiente como fator (solo) que afeta doenças, tem sido relatado que *R. solani* pode crescer em uma ampla faixa de pH dependendo do isolado (RITCHIE et al., 2009; GOSWAMI et al., 2011). De acordo com a análise do solo de amostras coletadas antes da calagem, o pH do solo nos campos avaliados neste estudo variou de 5,3 a 5,9 (Tabela 2). A calagem aumentará o pH, mas não ultrapassará 8,0. De fato, o intervalo ótimo para o crescimento micelial variou entre 6 e 7 (GOSWAMIG et al., 2011) e de 5 a 6 (RITCHIE et al., 2009). No entanto, a produção de escleródios (GOSWAMI et al., 2011) e a germinação de escleródios (RITCHIE et al., 2009) podem ocorrer em pH variando de 4 a 8. Além disso, não foi detectada interferência do pH do solo nas populações de microrganismos antagonistas, o que são habitantes naturais do solo e responsáveis pelo controle biológico natural de *R. solani* (GHINI & MENDES, 1996). A literatura sustenta que a calagem não influenciou a riqueza e diversidade fúngica do solo (YIN et al., 2021). No entanto, nosso estudo mostra claramente que as condições de pH do solo foram favoráveis para o crescimento do patógeno.

O calcário utilizado neste estudo foi composto predominantemente por CaO e MgO como nutrientes catiônicos. O cálcio (Ca^{2+}) é conhecido como um importante elemento que atua como constituinte celular, ativando inúmeros processos no metabolismo vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2006; THOR, 2019). Seu fornecimento pode ter diferentes efeitos sobre a planta de soja afetando o desenvolvimento da doença (RAHMAN & PUNJA, 2007). A parede celular é uma barreira importante contra a infecção por patógenos de plantas (BELLINCAMPI et al., 2014). Além disso, o influxo de Ca^{2+} pode ser desencadeado pela percepção de microrganismos pela planta e pode ativar proteínas quinases dependentes de Ca^{2+} que são responsáveis por atuar como sinais para desencadear processos metabólicos relacionados com a resistência de plantas à

fitopatógenos (BREDOW & MONAGHAN, 2019). Além disso, proteínas de ligação e à calmodulina podem servir como sensores para monitorar as alterações celulares no Ca^{2+} (ZHANG et al., 2014). Além disso, foi relatado recentemente que a aplicação de Ca aumentou a resistência do amendoim contra patógenos do solo pelo enriquecimento do solo com bactérias dominantes específicas (ZHANG et al., 2021).

A redução na incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* após a aplicação de calcário neste estudo contradiz relatos anteriores como Rodrigues et al. (2002) que descreveram um aumento de 32% na incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* em feijoeiro em estudo realizado em casa de vegetação. Estudos realizados em condições de laboratório ou casa de vegetação podem não refletir a totalidade da interação planta-patógeno-solo uma vez que a condição ambiental é estática e, portanto, captura apenas uma fração da dinâmica que ocorre em condições de campo (VELÁSQUEZ et al., 2018).

A fertilidade do solo aumenta após a aplicação de calcário (BORTOLUZZI et al., 2006; 2014; BOSSOLANI et al., 2021; COSTA et al., 2016). Como resultado, as plantas de soja podem ampliar o crescimento das raízes (BORTOLUZZI et al., 2014) e aumentar a pigmentação das folhas, bem como as trocas gasosas, levando a uma melhor nutrição mineral e maiores rendimentos (BOSSOLANI et al., 2021). Os benefícios da calagem na produtividade das culturas são muito bem relatados na literatura para muitas espécies de culturas e classes de solo (COSTA et al., 2016; MOREIRA & FAGERIA, 2010; OLEGO et al., 2021).

Em nosso estudo, testando doses de calcário em quatro classes de solo, destaca-se que a produtividade foi maximizada de soja dependendo da dose de calcário e classe de solo nas áreas com incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia*. Por exemplo, a aplicação de 6 t ha^{-1} proporcionou a maior produtividade de soja (4713 kg ha^{-1}) no Argissolo, representando 41% maior produtividade em relação ao tratamento controle sem calcário (3346 kg ha^{-1}). Da mesma forma, a aplicação de $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ levou à maior produtividade de soja (3349 kg ha^{-1}) no Nitissolo com 31% maior produtividade de soja em relação ao controle (2562 kg ha^{-1}). Verificou-se um platô na resposta produtiva para

Argissolo e Nitossolo, enquanto para os Cambissolos a resposta da produtividade foi linear positiva com o aumento das doses de calcário.

Esses resultados demonstraram as diferenças no potencial produtivo entre as classes de solo. Argissolo e Nitossolo são solos profundamente intemperizados e com alto potencial de acidez (H+A1). Portanto, espera-se que esses tipos de solo necessitem de grandes quantidades de calcário para a produção de soja, sendo a cultura mais responsiva do que em Cambissolos. Esses achados corroboram que o tipo de solo influencia não apenas o potencial produtivo das culturas, mas também o desenvolvimento da podridão radicular de *Rhizoctonia* (NEREY et al., 2010; TAMM et al., 2010). Em estudo com aplicação de silicato de cálcio em dois tipos de solos, verificou-se maior índice de doença (46,5) na Terra Roxa Estruturada Eutrófica do que no Argissolo Ródico (11,1), o que confirmou o caráter supressor do Argissolo para *R. solani* (RODRIGUES et al. 1999).

A soja é uma planta que apresenta plasticidade fenotípica (FERREIRA et al. 2016; HUSSAIN et al. 2020; KUMAGAI et al., 2015), podendo compensar a baixa densidade de plantas produzindo mais biomassa (KUMAGAI et al., 2015) e número de vagens (BALBINOT JUNIOR et al., 2018). Através da análise de trilha foi possível identificar que dentre todos os componentes de rendimento, o número de vagens por planta, o número de grãos por planta e o peso de 1000 grãos foram os mais afetados pela calagem. A análise de trilha é uma análise estatística tradicionalmente realizada em estudos de melhoramento de culturas (DEL CONTE et al., 2020; FERRARI et al., 2018). No entanto, estudos recentes também usaram a análise de trilha para analisar o efeito das propriedades do solo no rendimento das culturas (LOZANO et al., 2020), bem como para detectar indicadores de qualidade do solo (RAMOS et al., 2019).

Neste estudo, o calcário foi incorporado ao perfil do solo a 20 cm de profundidade. Nos sistemas de produção em plantio direto a calagem tem sido realizada principalmente na superfície do solo sem incorporação. Neste tipo de aplicação, a correção da acidez do solo ocorre a partir da superfície sendo mais pronunciada na camada superior (0-5 cm) (CAIRES et al., 2006). A incorporação de calcário no início de um sistema de plantio

direto garante ambiente favorável ao crescimento radicular e produtividade da soja, conforme relatado por Bortoluzzi et al. (2014). Isso é mais importante quando as culturas são sensíveis ao alumínio como o trigo (COSTA & ROSOLEM, 2007).

Por fim, o manejo de doenças causadas por patógenos do solo é um grande desafio que envolve uma complexa interação entre planta-patógeno-ambiente. É necessária uma integração das práticas agrícolas para minimizar os prejuízos causados pelas doenças das plantas. A calagem é uma prática que deve ser considerada não só para melhorar a fertilidade do solo, mas também como estratégia para o manejo adequado da podridão radicular de *Rhizoctonia* na cultura da soja.

4.6 Conclusão

A calagem reduz a incidência e o progresso da podridão radicular de *Rhizoctonia* e aumenta a produtividade da soja. aumentando o número de vagens por planta, número de grãos por planta e peso de 1000 grãos.

A dose de calcário que fornece o rendimento máximo em um Argissolo e Nitisosolo é 6,0 e 6,2 t ha⁻¹, respectivamente. Para os Cambissolos, a resposta da produtividade é linear, indicando que doses de calcário superiores a 9 t ha⁻¹ podem proporcionar maior rendimento de soja.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da podridão radicular de *Rhizoctonia* é complexo e desafiador por ser uma doença causada por um patógeno habitante do solo. O controle químico se restringe aos estádios iniciais por meio do tratamento de sementes com fungicidas. As cultivares de soja atualmente disponíveis no Brasil apresentam de baixa ou nula resistência genética. Além disso, o controle biológico tem grande potencial, mas ainda é pouco explorado. Portanto, uma alternativa para manejo da doença é por meio de métodos de controle cultural, que ficou evidenciado no trabalho através do manejo pela calagem.

A incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia* não apresentou correlação consistente com os atributos físicos e biológicos do solo avaliados no presente estudo, contudo apresentou correlação com alguns atributos químicos do solo com destaque para o teor de alumínio no solo.

Ficou evidente a supressividade da doença pelo efeito da calagem. No entanto não é possível comprovar o que conferiu a supressão. Outros estudos poderiam ser desenvolvidos e analisados visando identificar se essa supressão foi devido à presença de cálcio na parede celular das plantas, conferindo maior resistência e tolerar o ataque do patógeno. Outra hipótese a ser considerada é a estabilização do pH pela calagem, que poderia estar alterando a incidência de podridão radicular de *Rhizoctonia*.

6 CONCLUSÃO GERAL

Os fatores edáficos que apresentaram maior correlação com a ocorrência da podridão radicular de Rhizoctonia doença foram Al, H+Al, saturação por Al e Cu, com destaque para os altos valores desses atributos. Entretanto, não foi observada consistência da correlação de atributos físicos e biológicos avaliados com a doença.

A aplicação de calcário proporcionou redução na incidência e no progresso da doença na cultura da soja. Além disso, foi observado aumento na produtividade de soja com o uso de calcário para todas as classes de solo.

REFERÊNCIAS

ABAWI, G.S.; WIDMER, T.L. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology*. v.15, p. 37-47. 2000. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00070-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00070-6).

ABO-ELYOUSR, K.A.M.; ABDEL-HAFEZ, S.I.I.; ABDEL-RAHIM, I.R. Isolation of Trichoderma and evaluation of their antagonistic potential against *Alternaria porri*. *Journal of Phytopathology*. v. 162, p. 567-574. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jph.12228>.

AGRIOS, G.N. *Plant Pathology*, fifth ed. Burlington. Elsevier Academic Press. 2005.

AJAYI-OYETUNDE, O.O.; BRADLEY, C.A. *Rhizoctonia solani*: taxonomy, population biology and management of Rhizoctonia seedling disease of soybean. *Plant Pathology*, v. 67, p. 3-17. 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/ppa.12733>.

ALEXANDER, H. M. Disease in natural plant populations, communities, and ecosystems: Insights into ecological and evolutionary processes. *Plant Disease*, 94(5), 492–503. 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-5-0492>.

ALVAREZ, R.; GIMENEZ, A.; PAGNANINI, F.; RECONDO, V.; CAFFARO, M.; DE PAEPE, J.L.; BERTHONGARAY, G. Soil acidity in the Argentine Pampas: effects of land use and management. *Soil Tillage Research*, v. 196. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104434>.

ALHUSSAEN, K.M. Effect of soil acidity on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Fusarium oxysporum* on tomato plants. *Journal of Biological Sciences*, v.12, p. 416-420. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3923/jbs.2012.416.420>.

AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Doenças da soja, in: GODOY, C.V.; ALMEIDA, A.M.R.; COSTAMILAN, L.M.; MEYER, M.C.; DIAS, W.P.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; HENNING, A.A.; YORINORI, J.T.; FERREIRA, L.P.; SILVA, J.F.V.; *Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas*, Ed. 5, São Paulo: Agronômica Ceres. 2016.

AMPT, E.A.; VAN RUIJVEN, J.; RAAIJMAKERS, J.M.; TERMORSHUIZEN, A.J.; MOMMER, L. Linking ecology and plant pathology to unravel the importance of soil-borne fungal pathogens in species-rich grasslands. *European Journal of Plant Pathology*, v. 154, p. 141-156. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1573-x>.

ANDREO-JIMENEZ, B.; SCHILDER, M.T.; NIJHUIS, E.H.; TE BEEST, D.E.; BLOEM, J.; VISSER, J.H.M.; VAN OS, G.; BROLSMA, K.; DE BOER, W.; POSTMA, J. Chitin- and keratin-rich soil amendments suppress *Rhizoctonia solani* disease via changes to the soil microbial community. *Applied Environmental Microbiology*, v.11, p. 18-21. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.00318-21>.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; OLIVEIRA, M.C.N.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A.S.; WERNER, F. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, p. 1038-1044. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900007>.

BALBINOTTI, M. Aptidões das classes de solo descritas na microregião rural norte Soledade-RS. Trabalho de conclusão de curso em agronomia: dados ainda não publicados, mas em repositório Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo. 2018.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. Illustrated genera of imperfect fungi. 3. ed. Minneapolis: Burgess, 241 p. 1972.

BASSETO, M.A.; CERESINI, P.C.; VALÉRIO FILHO, W.V. Severidade da mela da soja causada por *Rhizoctonia solani* AG-1 IA em função de doses de potássio. *Summa Phytopathologica*, v. 33, p. 56-62. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-62354052007000100008>.

BELLINCAMPI, D.; CERVONE, F.; LIONETTI, V. Plant cell wall dynamics and wall related susceptibility in plant-pathogen interactions. *Frontiers of Plant Science*, v. 5. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900007>.

BEN, C.A.V. Avaliação de cultivares de soja 627 [*Glycine max* (L.) Merrill] quanto à tolerância à *Rhizoctonia solani*. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria. 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5140>. Acesso em 13/01/2022.

BEDENDO, I.P.; MASSOLA JR., N.; AMORIM, L. Controles cultural, físico, biológico de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v.1, p.367-388. 2011.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos supressivos. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 125-152. 2005.

BLANCO, A.J.V.; COSTA, M.O.; SILVA, R. do. N.; ALBUQUERQUE, F.S. de.; MELLO, A.T. de. O.; LOPES, F.A.C.; BARBOSA, T.E.; ULHOA, C.J.; JUNIOR, L. Diversity and pathogenicity of *Rhizoctonia* species from the Brazilian Cerrado. *Plant Disease*, v. 102, p. 773-781. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-17-0721-RE>.

BLOOM, J.R & SOFÁ, H.B. Influence of the environment on grass diseases. I. Effect of nutrition, pH and soil moisture on brown spots of *Rhizoctonia*. *Phytopathology*. v. 50. p. 532-534. 1960.

BORTOLUZZI, E.C.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D.S.; JULIEN, J.L. The cation Exchange capacity of a sandy soil in southern Brazil: an estimation of permanent charge and pH-dependent charges. *European Journal of Soil Science*, v. 57, p. 356-364. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-6372.2005.00746.x>.

BORTOLUZZI, E.C.; PARIZE, G.L.; KORCHAGIN, J.; SILVA, V.R.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v. 38, p. 262-271. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100026>.

BOSSOLANI, J.W.; CRUSCIOL, C.A.C.; PORTUGAL, J.R.; MORRETTI, L.G.; GARCIA, A.; RODRIGUES, V.A.; FONSECA, M.C.; BERNART, L.; VILELA, R.G.; MENDONÇA, L.P.; REIS, A.R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. *European Journal of Agronomy*, v. 128, p. 126-308. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>.

BRADLEY, C.A.; HARTMAN, G.L.; NELSON, R.L.; MUELLER, D.S.; PEDERSEN, W.L.; PEDERSEN, W.L. Resposta de linhagens ancestrais de soja e cultivares comerciais à raiz de *Rhizoctonia* e podridão hipocótula. *Plant Des.* 85 : 1091-1095. 2001.

BRADLEY, C.A.; MUELER, D.S.; HOFFMAN, D.D.; NICKELL, C.D.; PEDERSEN, W.L.; HARTMAN, G.L. Genetic analysis of partial resistance to *Rhizoctonia solani* in the soybean cultivar 'Savoy'. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 27, p. 137-142. 2005. <https://doi.org/10.1080/07060660509507205>.

BREDOW, M.; MONAGHAN, J. Regulation of plant immune signaling by calcium dependent protein kinases. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 32, p. 6-19. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-18-0267-FI>.

BUENO, C.J.; AMBRÓSIO, M.M. de. Q.; SOUZA, N.L. de. Produção e avaliação da sobrevivência de estruturas de resistência de fungos fitopatogênicos habitantes do solo. *Summa Phytopathologica*, v. 33, p. 47-55. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-65354052007000100007>.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. *Scientia Agricola*, v. 63, p. 370-379. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000400008>.

CAMARGO, L. E. A.; BERGAMIN FILHO, A. Controle genético. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*, 3 ed. São Paulo, Agronômica Ceres, p. 729-758. 1995.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Nova York: John Wiley & Sons. 1990.

CHANG, K.F.; HWANG, S.F.; AHMED, H.U.; STRELKOV, S.E.; TURNBULL, G.D.; BURKE, D.A.; HARDING M.W. Response of soybean cultivars and lines to seedling blight and root rot (*Rhizoctonia solani*) under field conditions in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Pathology*. v. 38, p. 262. 2015.

CHANG, K.F.; HWANG, S.F.; AHMED, H.U.; STRELKOV, S.E.; HARDING, M.W.; CONNER, R.L.; McLAREN, D.L.; GOSSEN, B.D.; TURNBULL, G.D. Disease reaction to *Rhizoctonia solani* and yield losses in soybean. *Canadian Journal of Plant Science*. v. 98, p. 115-124. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0053>.

COOK, R.J.; BAKER, K.F. The nature and practice of biological control of plant pathogens. 2.ed. Saint Paul: *The American Phytopathological Society*, 539. p. 1983.

COSTA, A.; ROSOLEM, C.A. Liming in the transition to no-till under a wheat–soybean rotation. *Soil Tillage Research*, v. 97, p. 207-217. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.09.014>.

COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; FERRARINETO, J.; CASTRO, G.S.A. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, p. 1633-1642. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900063>.

CRUZ, C.D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v. 35, p. 271-276. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. Viçosa: UFV. 2012.

DAHLGREN, R.A.; WALKER W.J. Aluminum release rates from selected spodosol Bs horizons: Effect of pH and solid-phasealuminum pools. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 57, p. 57-66. 1993.

DEL CONTE, M.V.; CARNEIRO, P.C.S.; RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.L.; PETERNELLI, L.A. Overcoming collinearity in path analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] grain oil content. *Plos One*, v. 15. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233290>.

DIONÍSIO, J.A.; PIMENTEL, I.C.; SIGNOR, D.; PAULA, A.M. de.; MATTANA, A.L.; MACEDA, A. *Guia Prático de Biologia do Solo*. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1043646/guia-pratico-de-biologia-do-solo>>. Acesso em 20/04/2020.

DORAM, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v. 15, p. 3-11. 2000. Disponível em: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6).

DORRANCE, A.E.; KLEINHEZ, M.D.; McCLURE, S.A.; TUTTLE, N.T. Temperature, moisture, and seed treatment effects on *Rhizoctonia solani* root rot of soybean. *Plant Disease*, v. 87, p. 533-538. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.5.533>.

DORRANCE, A. E.; KLEINHENZ, M. D.; McCLURE, S. A.; TUTTLE, N. T. Temperature, moisture, and seed treatment effects on *Rhizoctonia solani* root rot of soybean. *Plant Disease*. v. 87, p. 533- 538. 2003.

DORRANCE, A.E.; KLEINHENZ, M.D.; McCLURE, S.A.; TUTTLE, N.T. Temperature, moisture, and seed treatment effects on *Rhizoctonia solani* root rot of soybean. *Plant Disease*, v. 87, p. 533-538. 2007.

DORDAS, C. Papel dos nutrientes no controle de doenças de plantas na agricultura sustentável. Uma revisão. *Agron. Sustentar. Dev.* 28, 33-46. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. (Eds.). Brasília: DF. 2017.

ECHART, C.L & CAVALLI-MOLINA, S. Aluminum phytotoxicity: effects, tolerance mechanisms and its genetic control. *Ciência Rural*, v. 31, n. 3, p. 531-541. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2.ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997.

FANG, X.; YOU, M.P.; BARBETTI, M.J. Reduced severity and impact of Fusarium wilt on strawberry by manipulation of soil pH, soil organic amendments and crop rotation. *European Journal of Plant Pathology*, v. 134, p. 619-629. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0042-1>.

FAO, ISSS, ISRIC. World Reference Base for Soils Resources. *World Soil Resource Report No. 103*. Rome, Italy. 2006. Disponível em: <https://www.fao.org/soils-portal/data682/hub/soil-classification/world-reference-base/en/>. Acesso em 13/01/2022.

FARRR, D.F & ROSSMAN, A.Y. Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Retrieved February 15. 2022. Disponível em: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>.

FENILLE, R.C. Caracterização citomorfológica, cultural, molecular e patogênica de *Rhizoctonia solani* KÜHN associado à soja no Brasil. Universidade Estadual Paulista

“Júlio De Mesquita Filho” Caracterização CITOMOR 152. 2001.

FENILLE, R.C.; SOUZA, N.L.de.; KURAMAE, E.E. Characterization of *Rhizoctonia solani* associated with soybean in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, v. 108, p. 783-792. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1020811019189>.

FERRARI, M.; CARVALHO, I.R.; PELEGRIN, A.J.; NARDINO, M.; SZARESKI, V.J.; OLIVOTO, T.; ROSA, T.C.; FOLLMANN, D.N.; PEGORARO, C.; MAIA, L.C.; SOUZA, V.Q. Path analysis and phenotypic correlation among yield components of soybean using environmental stratification methods. *Australian Journal of Crop Science*. v. 12, p. 193-202. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne488>.

FERREIRA, A.S.; BALBINOTT JUNIOR, A.A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASE, H. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. *Bragantia*. v.75, p. 362-370. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.479>.

FOLEY, R.C.; GLEASON, C.A.; ANDERSON, J.P.; HAMANN, T., SINGH, K.B. Genetic and Genomic Analysis of *Rhizoctonia solani* Interactions with Arabidopsis; Evidence of Resistance Mediated through NADPH Oxidases. *PLoS One*. v. 8. 2013. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0056814>.

GABARDO, G.; PRIA, M.D.; SILVA, H.L. da.; HARMS, M.G. Método da folha destacada para avaliação da indução de resistência de produtos alternativos a *Phakopsora pachyrhizi*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Rhizoctonia solani* em soja. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 43847-43862. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-123>.

GATCH, E.W.; DU TOIT, L.J. Limestone-mediated suppression of Fusarium wilt in spinach seed crops. *Plant Disease*. v. 101, p. 81-94. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0423-RE>.

GATIBONI, L.C.; SILVA da, L.S.; ANGHINONI, G. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. In: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, p. 65-87. 2016.

GHINI, R & MENDES, M.D.L. Efeito do pH na supressividade de solos a *Rhizoctonia solani*. In: Simpósio de Controle Biológico, 5, *Anais...*, Foz do Iguaçu, PR. 1996. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes//publicacao/13034/efeito-do-ph-na-supressividade-de-solos-a-rhizoctonia-solani>. Acesso em 27/01/2022.

GHINI, R & MORANDI, M.A.B. Biotic and abiotic factors associated with soil suppressiveness to *Rhizoctonia solani*. *Scientia Agricola*. v. 63, p. 153-160. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000200007>.

GILL, J.S.; SIVASITHAMPARAM, K.; SMETTEM, K.R.J. Soil types with different texture affects development of *Rhizoctonia* root rot of wheat seedlings. *Plant and Soil*. v. 221, p. 113-120. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1004606016745>.

GOSWAMI, B.K.; RAHAMAN, M.M.; HOQUE, A.K.M.A.; BHUYAN, K.; MIAN, I.H. Variations in different isolates of *Rhizoctonia solani* based on temperature and pH. Bangladesh. *Journal of Agricultural Research*, v. 36, p. 389-396. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/bjar.v36i3.9267>.

GUPTA, N.; DEBNATH S.; SHARMA S.; SHARMA P.; PUROHIT, J. Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In: V.S. Meena et al, editor. *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*. p. 217-62. 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_8.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W. *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman. 2005.

HARRIES, E.; BERRUEZO, L.A.; GALVÁN, M.Z.; RAJAL, V.B.; MERCADO-CÁRDENAS, G.E. Soil properties related to suppression of *Rhizoctonia solani* on tobacco fields from northwest Argentina. *Plant Pathology*. v. 69, p. 77-86. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppa.13106>.

HAYDEN, H.L.; ROCHFORT, S.J.; EZERNIEKS, V.; SAVIN, K.W.; MELE, P.M. Metabolomics approaches for the discrimination of disease suppressive soils for *Rhizoctonia solani* AG8 in cereal crops using 1H NMR and LC-MS. *Science of Total Environment*. v. 651, p. 1627-1638. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.249>.

HILL, G.T.; MITKOWSKI, N.A.; ALDRICH-WOLFE, L.; EMELE, L.R.; JURKONIE, D.D.; FICKE, A.; MALDONATO-RAMIREZ, S.; LYNCH, S.T.; NELSON, E.B.

Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied of Soil Ecology*. v. 15, p. 25-36. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00069-X](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00069-X).

HOITINK, H.A.J & BOEHM, M.J. Interaction between organic matter decomposition level, biocontrol agents and plant pathogens in soilborne disease. Anais, 4º Reunião Brasileira sobre Controle Biológico de Doenças de Plantas, Campinas, SP. p. 63-77. 1991.

HÖPER, H.; ALABOUVETTE, C. Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soil to plant diseases. *European Journal of Soil Biology*, v.32, p. 41-58. 1996.

HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in defense. In: Horsfall & Cowling, E.B. *Plant Pathology; An Advanced Treatise*. New York, Academic Press, v.5, p 381-406. 1980.

HUBER, D.M & ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, D. (Ed.) *Potassium in Agriculture*. Madison. *American Society of Agronomy*. p. 467-488. 1985.

HUBER, D.M. Fertilizers and soil-borne diseases. *Soil Use and Management*. v. 6, p. 168-173. 1990.

HUBER, D.; RÖMHELD, V.; WEINMANN, M. Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests. *Marschner's Miner. Nutr. High. Plants Third Ed.* 283-298. 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8>.

HUBER, D.M.; JONES, J.B. The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil*, v. 368, p. 73-85, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1476-0>.

HUSSAIN, S.; PANG, T.; IGBAL, N.; SHAFIQ, I.; SKALICKY, M.; BRESTIC, M.; SAFDAR, M.E.; MUMTAZ, M.; AHMAD, A.; ASGHAR, M.A.; RAZA, A.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; WANG, Y.; WANG, X.C.; YANG, F.; YONG, T.; LIU, W.; YANG, W. Acclimation strategy and plasticity of different soybean genotypes in intercropping. *Functional Plant Biology*, v. 47, 592-610. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP19161>.

HUZAR-NOVAKOWISKI, J.; MOLIN, C.; FERREIRA, M.L.B.; LÜTKMEYER, A.J.; HELLER, Í.; PELISSONI, M.; COMÍN, T. Estabelecimento da cultura da soja e do milho: qual a ameaça dos patógenos de solo? *Plantio Direto*, v. 177, p. 22-27. 2020.

IBGE. *Manual Técnico de Pedologia*. Rio de Janeiro. 3.ed. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, p. 430. 2015.

JANVIER, C.; VILLENEUVE, F.; ALABOUVETTE, C.; EDEL-HERMANN, V.; THIERRY, M.; STEINBERG, C. Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, p. 1-23. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.001>.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v. 48, p. 692. 1964.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, p. 87-200. 1958. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02289233>.

KHAN, F.U.; NELSON, B.D.; HELMS, T.C. Greenhouse evaluation of binucleate *Rhizoctonia* for control of *R. solani* in soybean. *Plant Disease*. v. 89, p. 373-379. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PD-89-0373>.

KLEIN, V. A. *Física do Solo*. 2014. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo. 2014.

KUMAGAI, E.; AOKI, N.; MASSUYA, Y.; SHIMONO, H. Phenotypic plasticity conditions the response of soybean seed yield to elevated atmospheric CO₂ concentration. *Plant Physiology*, v. 169, p. 2021-2029. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.15.00980>.

JONES, J.P.; ENGELHARD, A.W.; WOLTZ, S.S. Management of *Fusarium* wilt of vegetables and ornamentals by macro and microelement nutrition. In: Engelhard, A.W. Management of diseases with macro and microelements. St. Paul, APS PRESS, p.18-32. 1990.

LEAL, M.L de A.; CHAVES, J. da. S.; SILVA, J.A. da.; SILVA, L.S. da.; SOARES, R.B.; NASCIMENTO, J.P.S.; MATOS, S.M. de.; TEIXEIRA JÚNIOR, D.L.; BRITO

NETTO, A.F. Efeito dos sistemas de manejo e do uso do solo na população de microrganismos do solo. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, p. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17966>. Acesso em 28/02/2022.

LES, N.; HENNEBERG, L.; NADAL, V.G.R.; MULLER, M.; SZEMOCOVISKI, A.G.; CARNEIRO, F.T.; JACCOUD FILHO, D. de S. Controle de *Rhizoctonia solani* com produtos biológicos no tratamento de sementes na cultura da soja. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 99919-99935. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-470>. Acesso em 22/02/2022.

LI, S.; LIU, Y.; WANG, J.; YANG, L.; ZHANG, S.; XU, C.; DING, W. Soil acidification aggravates the occurrence of bacterial wilt in south China. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, p. 1-12. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00703>.

LIDDELL, C.M. Abiotic factors and soilborne diseases. In: HILLOCKS, R.J & WALLER, J.M. (Eds.) *Soilborne Diseases of Tropical Crops*. Wallingford. CAB International. p. 365-376. 1997.

LIU, L.; HUANG, X.; ZHAO, J.; ZHANG, J.; CAI, Z. Characterizing the key agents in a disease-suppressed soil managed by reductive soil disinfestation. *Applied Environmental Microbiology*, v. 85, p. 1-15. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.02992-18>.

LOZANO, Y.M.; HORTAL, S.; ARMAS, C.; PUGNAIRE, F.I. Complementarity in nurse plant systems: soil drives community compositions while microclimate enhances productivity. *Plant Soil*, v. 450, p. 385-396. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04503-6>.

MacDONALD, J.D.; The soil environment. In: CAMPBELL, C.L & BENSON, D.M. (Eds.) *Epidemiology and Management of Root Diseases*. Heidelberg. Springer-Verlag. p. 82-115. 1994.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. *The Study of Plant Disease Epidemics*. Minnesota, APS Publications. 2006.

MAIMONE, N.M.; DE OLIVEIRA, L.F.P.; SANTOS, S.N.; DE LIRA, S.P. Elicitation of *Streptomyces lunalinharesii* secondary metabolism through co-cultivation with *Rhizoctonia solani*. *Microbiology Research*, v. 251, 126836. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126836>.

MARIANO, R. de L. R.; SILVEIRA, E. B. da; ASSIS, S. M. P. de; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v.1, p.89-111. 2004.

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; GOMES, A. M. A. Controle Biológico de Doenças Radiculares. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Eds.). *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária. 2005.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press. p. 674. 1986.

MARSCHNER, H. Marschner's. Mineral Nutrition of Higher Plants: 3rd ed. Academic Press; 2012. 672 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>. 2012.

MATTIELO, R.R.; BARBIERI, R.L.; CARVALHO, F.I.F. Resistência das plantas a moléstias fúngicas. *Ciência Rural*, v. 27, p. 161-168. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781997000100028>.

MAZUCHOWSKI, J.Z & DERPSCH, R. *Guia de Preparo do Solo para Culturas Anuais Mecanizadas*. Curitiba: ACARPA. p. 68. 1984.

McGUIRE, R.G & KELMAN, A. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia corotovor* pv. *Atroseptica*. *Phytopathology*. v. 63, p.1202-3. 1986.

MELAKEBERHAN, H.; JONES, A.L.; BIRD, G.W. Effects of soil pH and *Pratylenchus penetrans* on the mortality of 'Mazzard' cherry seedlings and their susceptibility to *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 22, p. 131-137. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07060660009500486>.

MELLO, S. C. M. de.; ECKTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS (Eds.). *Controle biológico de pragas da agricultura*. Brasília: Embrapa. 2020.

MENGISTU, A.; KELLY, H.M.; BELLALLOUI, N.; ARRELLI, P.R.; REDDY, K.N.; WRATHER, A.J. Tillage, fungicide, and cultivar effects on frogeye leaf spot severity and

yield in soybean. *Plant Disease*, v. 98, p. 1476-1484. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-13-1268-RE>.

MEYER, M.C. Caracterização de *Rhizoctonia solani* Kühn, agente causal da mela da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], seleção de genótipos e controle químico. 126f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2002. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105446/meyer_mc_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 13/01/2022.

MEYER, M.C.; BUENO, C.J.; DE SOUZA, N.L.; YORINORI, J.T. Effect of doses of fungicides and plant resistance activators on the control of *Rhizoctonia foliar* blight of soybean, and on *Rhizoctonia solani* AG1-IA in vitro development. *Crop Protection*. v. 25, p. 848-854. 2006. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.11.008>.

MICHEREFF, S.J.; ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M. Sistema vascular e exsudatos radiculares. In: WILLANDINO, L.; CÂMARA, T.J.R.; GALINDO, R.M.P.; GUEDES, R.M.M.; MICHEREFF, S.J. (Eds.) *Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais*. UPRPE, Imprensa Universitária. 2005.

NYE, P.H. Mudanças de pH ao longo da rizosfera induzidas por raízes. *Plant Solo*. v. 61, p. 7-26. 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02277359>.

MORAES, S. R.; MELCHIADES, A. R. Apostila do laboratório de patologia de sementes. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. p. 46. 1991.

MOREIRA, A & FAGERIA, N.K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1231-1239. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400022>.

MURAKAMI, H.; TSUSHIMA, S.; KUROYANAGI, Y.; SHISHIDO Y. Reduction of resting spore density of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease severity by liming. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 48, n. 5, 685-691. 2002. Disponível em: doi: 10.1080/00380768.2002.10409258.

MYCOBANK. *Fungal Database*. 2010. Disponível em: <https://www.mycobank.org/>. Acesso em: 06/01/2022.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L.E.; PARENT, S.E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, SP, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, dezembro 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/syV3RhMzvTz5Hhq6WBQ5JxD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10/03/2022.

NEDER, R. N. *Microbiologia: manual de laboratório*. São Paulo: Nobel. 1992.

NEREY, Y.; BENEDEN, S.V.; FRANÇA, S.C.; JIMENEZ, A.; CUPULL, R.; HERRERA, L.; HÖFTE, M. Influence of soil type and indigenous pathogenic fungi on bean hypocotyl rot caused by *Rhizoctonia solani* AG4 HGI in Cuba. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, p. 797-803. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.01.015>.

OLEGO, M.Á.; QUIROGA, M.J.; MENDAÑA-CUERVO, C.; CARA-JIMÉNEZ, J.; LÓPEZ, R.; GARZÓN-JIMENO, E. Long-term effects of calcium-based liming materials on soil fertility sustainability and rye production as soil quality indicators on a Typic Paleixerult. *Processes*, v. 9, p. 1181. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9071181>.

OKUBARA, P.A.; SCHROEDER, K.L.; ABATZOGLOU, J.T.; PAULITZ, T.C. Agroecological factors correlated to soil DNA concentrations of *Rhizoctonia* in dryland wheat production zones of Washington state, USA. *Phytopathology*, v. 104, p. 683-691. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-13-0269-R>.

OMARA, A.E.-D.; HAUKA, F.; AFITY, A.; NOUR EL-DIN, M.; KASSEM, M. The Role of Some PGPR Strains to Biocontrol *Rhizoctonia Solani* in Soybean and Enhancement The Growth Dynamics and Seed Yield. *Environ. Biodivers. Soil Security*. v. 1, p. 47-59. 2017.

OTTEN, W.; GILLIGAN, C.A.; WATTS, C.W.; DEXTER, A.R.; HALL, D. Continuity of air-filled pores and invasion thresholds for a soil-borne fungal plant pathogen, *Rhizoctonia solani*. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 31, p.1803-1810. 1999. Disponível em: DOI: 10.1016/s0038-0717(99)00099-1.

OTTEN, W.; HALL, D.; HARRIS, K.; RITZI, K.; YOUNG, I.M.; GILLIGAN, C.A. Soil physics, fungal epidemiology and the spread of *Rhizoctonia solani*. *New Phytologist*. v. 151, p. 459-468. 2001. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00190.x>.

PERRENOUD, S. Potassium and plant health. IPI Res. Topics N. 3. International Potash Institute. 1990.

PINHEIRO NETO, R.; OLIVEIRA, N. V. de.; CABELEIRO, F.C.C. Otimização de um distribuidor de calcário por gravidade. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v. 22, p. 1065-1068. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v22i0.2869>.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. Disponível em: <https://www.Rproject.org/>. Acesso em: 10/09/2021.

RAHMAN, M.; PUNJA, Z.K. Calcium and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Eds.). *Mineral Nutrition and Plant Disease*. APS Press, St. Paul, United States, p. 79-93. 2007.

RAHMAN, M.T.; RUBAYET, M.T.; BHUIYAN, M.K.A. Integrated management of rhizoctonia root rot disease of soybean caused by *Rhizoctonia solani*. *Nippon Journal of Environmental Science*. v. 1, 1018. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.46266/njes.1018>.

RAMOS, J.C.; BERTOL, I.; BANDEIRA, D.H.; BARBOSA, F.T.; ZANGISKI, F. Path coefficient analysis, a different approach to identify soil quality indicators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, p. 545-551. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p545-551>.

REDE DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO BRASILEIRO. *Estação Meteorológica Soledade/Toniolo – RS (ISOLED2)*, 2021. Disponível em: <https://climamariadafe.com.br/site/membros>. Acesso em: 09/12/2021.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BIANCHIN, V. Controle de doenças de plantas pela rotação e culturas. *Summa Phytopathologica*, v. 37, p. 85-91. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000300001>.

REIS, E.M.; REIS, A.C.R.; CARMONA, M.A. *Manual de Fungicidas: Guia para o Controle Químico Racional de Doenças de Plantas*, 8 ed., Berthier. 259 p. 2019.

RITCHIE, F.; BAIN, R.A.; MCQUILKEN, M.P. Effects of nutrients status, temperature and pH on mycelial growth, sclerotial production and germination of *Rhizoctonia solani*

from potato. *Journal of Plant Pathology*. v. 91, p. 589-596. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v91i3.550>.

RODRIGUES, F.A.; CARVALHO, E.M.; DO VALE, F.X.R. Severidade da podridão radicular de *Rhizoctonia* do feijoeiro influenciada pela calagem, e pelas fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 37, p. 1247-1252. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900007>.

RODRIGUES, F.A.; CORRÊA, G.F.; SANTOS, M.A. dos.; BORGES FILHO, E.L. Fatores envolvidos na supressividade a *Rhizoctonia solani* em alguns solos tropicais brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 22, p. 239-246. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06831998000200009>.

RODRIGUES, F.A.; CORRÊA, G.F.; KORNDÖRFER, G.H.; SANTOS, M.A.; DATNOFF, L.E. Efeito do silicato de cálcio e da autoclavagem na supressividade e na condutividade de dois solos à *Rhizoctonia solani*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 34, p. 1367-1371. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000800007>.

RODRIGUEZ-SANCHEZ, A.; TOMASEK, A.; MCMILLAN, S.; YUFRA, S.; YUPANQUI, M.; RONDON, R.; HOAGLAND, L. Composition and potential functional roles of soil fungal communities on arid farms in Arequipa (Southern Peru) characterized using SMRT sequencing. *Applied Soil Ecology*, v. 169, p. 104-228. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104228>.

RUARO, L.; LIMA NETO, V. da C.; MOTTA, A.C.V. Efeito do pH do solo em diferentes níveis de concentração de inóculo no controle de *Plasmodiophora brassicae*. *Summa Phytopathologica*, v. 36, p. 16-20. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-54052010000100002>.

SAGGIN, M & LEIRIA R. *Rhizoctonia solani* na linhaça. Materiais Técnicos. Elevagro. Disponível em: <https://elevagro.com/materiais-didaticos/rhizoctonia-solani-na-linhaca/> Accessed: 2022-03-04.

SALLAM, N.; ALI, E.F.; SELEIM, M.A.A. Fungos endofíticos associados a plantas de soja e sua atividade antagônica contra *Rhizoctonia solani*. *Egito Journal of Biological Pesticide Control*. v. 31, n. 54. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00402-9>.

SANOGO, S.; YANG, X.B. Relation of sand content, pH, and potassium and phosphorus nutrition to the development of sudden death syndrome in soybean. *Canadian Journal of Plant Pathology*. v. 23, p. 174-180. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07060660109506927>.

SCHLATTER, D.; KINKEL, L.; THOMASHOW, L.; WELLER, D.; PAULITZ, T. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathological Reviews*. v. 107, p. 1284-1297. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0111-RVW>.

SANTOS, D.R. do.; KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A.; FORIN, J.E.; SILVA, L.S. da.; GATIBONI, L.C. Diagnóstico da acidez e recomendação da calagem, in: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, p. 65-87. 2016.

SANTOS, C.A. dos.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, E.S.P.; DINIZ, C.S.; CARMO, M.G.F. do. Calagem e biofungicida para o controle de hérnia das crucíferas em couve-flor. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 47, p. 303-311. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4746936>.

SANTOS, C.A.D.; M.G.F. do.; BHERING, A. da. S.; COSTA, E.S.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.D. Use of limestone and agricultural gypsum in cauliflower crop management and clubroot control in mountain farming. *Acta Scientiarum: Agronomy*. v. 42, p. 1-11. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42494>.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, T.K.P.; ANJOS, dos. C.H.L.; OLIVEIRA, de. A.V.; LUMBRERAS, F.J.; COELHO, R.M.; ALMEIDA, DE. A.J.; CUNHA, F.J.T.; OLIVEIRA, de. B.J. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3.ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>. Acesso em 02/03/2021.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS.; L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. *Brazilian Soil Classification System*. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>. Acesso em 02/03/2021.

SCHLATTER, D.; KINKEL, L.; THOMASHOW, L.; WELLER, D.; PAULITZ, T. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology*

Review v. 107, p. 1284-1297. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0111-RVW>.

SCHUMANN, A.W.; VASHISTH, T.; SPANN, T.M. Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. Horticultural Sciences Department, *UF/IFAS Extension*. 2017. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS118100.pdf>.

SHARMA, R.C & DUVEILLER E. Effect of helminthosporium leaf blight on performance of timely and late-seeded wheat under optimal and stressed levels of soil fertility and moisture, *Field Crop Research*. v. 89, p. 205-218. 2004.

SHARMA S.; DUVEILLER E.; BASNET R.; KARKI, C.B.; SHARMA, R.C. Effect of potash fertilization on helminthosporium leaf blight severity in wheat, and associated increases in grain yield and kernel weight, *Field Crop Research*. v. 93, p. 142-150. 2005.

STAMFORD, N.P.; RODRIGUES, J.J.V.; HECK, R.J.; ANDRADE, D.E.G.T. Propriedades físicas e químicas dos solos. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 41-60. 2005.

STRECK, V.E.; KAMPF, N.; DALMOLIN, D.S.R.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, do. C.P.; SCHENEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, S.F.L. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. 2008.

SURYANARAYANAN, T.S.; THIRUNAVUKKARASU, N.; GOVINDARAJULU, M.B.; GOPALAN, V.; 2012. Fungal endophytes: An untapped source of biocatalysts. *Fungal Divers*. 54, 19-30. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0168-7>.

TAIZ L; ZEIGER E. *Plant Physiology*, ed. 4, Sunderland. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers. 2006.

TAMM, L.; THÜRIG, B.; BRUNS, C.; FUCHS, J.G.; KÖPKE, U.; LAUSTELA, M.; LEIFERT, C.; MAHLBERG, N.; NIETLISPACH, B.; SCHMIDT, C.; WEBER, F.; FLIEßBACH, A. Soil type, management history, and soil amendments influence the development of soil-borne (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 127, p. 465-481. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9612-2>.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, A.C.; BOHNEN.; VOLKEWEISS.; J.S. *Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais*. 2.ed., Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995.

THOR, K. Calcium nutrient and messenger. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 440. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440>.

TOLEDO, J. A.; KAMINSKI, J.; SANTANNA, M. A.; dos SANTOS D. R. (2012). Tampão Santa Maria (TSM) como alternativa ao tampão SMP para medição da acidez potencial de solos ácidos. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. v. 36, p. 427-435. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200012>

TSAL, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAL, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.) *Microbiologia do Solo*. Campinas. Sociedade Brasileira do Solo. p. 59-67. 1992.

TWIZEYIMANA, M.; OJIAMBO, P.S.; HARTMAN, G.L.; BANDYOPADHYAY, R. Dynamics of soybean rust epidemics in sequential plantings of soybean cultivars in Nigeria. *Plant Disease*. v. 95, p. 43-50. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0436>.

UMESH, C.G.; KENING, W.U.; SIYUAN, L. Micronutrients in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers*. v. 15, ed. 5. p 110-125. 2008. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1872-5791\(09\)60003-8](https://doi.org/10.1016/S1872-5791(09)60003-8).

USDA. United States Department of Agriculture. *Oilseeds: world markets and trade*, 2022. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>. Acesso em: 13/01/2022.

VAN BRUGGEN, A.H.C & SEMENOV, A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*. v. 15, p. 13-24. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00068-8).

VELÁSQUEZ, A.C.; CASTROVERDE, C.; HE, S.Y. Plant-pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*, v. 28, p. 619-634. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>.

VORONEY, P. Horse pasture management. In: PAUL, S. *Soils for horse pasture management*. Academic Press, v.1, p. 65-79. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812919-7.00004-4>.

WALKLEY, A & BLACK, I. A. An examination of the Degtjarref method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, p. 29-38. 1934.

WHEELER, T & RUSCH, C.M. Soilborne diseases. In: MALOY, O.C & MURRAY, T.D.(Eds.) *Encyclopedia of Plant Pathology*. New York. JohnWiley & Sons. p. 935-947. 2001.

WILLIAMSON-BENAVIDES, A.B & DHINGRA, A. Understanding root rot disease in agricultural crops. *Horticulturae*, v. 7, p. 1-43. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020033>.

WOICIECKOSKI, C. P.; COSTA, M. L. N. Severidade da *Rhizoctonia solani* em cultivares de soja em relação ao potássio. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 10, n. 2, p. 22-27. 2016.

WRATHER, J.A.; ANDERSON, T.R.; ARSYAD, D.M.; TAN, Y.; PLOPER, L.D.; PORTA-PUGLIA, A.; RAM, H.H.; YORINORI, J.T. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998. *Canadian Journal of Plant Pathology*. v. 23, p. 115-121. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07060660109506918>.

YAKUBU, M.; OJANUGA, A. Pedogenesis, weathering status and mineralogy of the soils on ironstone plateaux (laterites), Sokoto Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Science*, v. 6, p. 93-100. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/bajopas.v6i2.19>.

YIN, C.; SCHLATTER, D.C.; KROESE, D.R.; PAULITZ, T.C.; HAGERTY, C.H. Responses of soil fungal communities to lime application in wheat fields in the pacific Northwest. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, 1-13. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.576763>.

XUE, A.G.; COBER, E.; MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D.; MA, B.L. Effect of seed treatments on emergence, yield, and root rot severity of soybean under *Rhizoctonia solani* inoculated field conditions in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*. v. 87, p. 167-173. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/p05-192>.

ZAMBOLIM, L. & VENTURA, J.A. Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*. v. 1, p. 275-318. 1993.

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F. X. R. Nutrição mineral e patógenos radiculares. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 153-182. 2005.

ZHANG, L.; DU, L.; POOVAIAH, B.W. Calcium signaling and biotic defense responses in plants. *Plant Signaling Behavior*, v. 9. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4161/15592324.2014.973818>.

ZHANG, J.X.; XUE, A.G.; COBER, E.R.; MORRISON, M.J.; ZHANG, H.J.; ZHANG, S.Z.; GREGORICH, E. Prevalence, pathogenicity and cultivar resistance of Fusarium and Rhizoctonia species causing soybean root rot. *Canadian Journal of Plant Science*. v. 93, p. 221-236. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/cjps2012-223>.

ZHANG, W.; ZHANG, B.; DENG, J.; LI, L.; YI, T.; HONG, Y. The resistance of peanut to soil-borne pathogens improved by rhizosphere probiotics under calcium treatment. *BMC Microbiology*, v. 21, p. 1-13. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02355-8753>.

ZHAO, G.; ABLETT, R.; ANDERSON, T.R.; RAJCAN, I.; SCHAAFSMA, A.W. Inheritance and genetic mapping of resistance to Rhizoctonia root and hypocotyl rot in soybean. *Crop Science*, v. 45, p. 1441-1447. 2005. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0560>.



UPF
UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV