



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA, IMUNOLOGIA E PARASITOLOGIA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Larissa Gonçalves Faustino

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E AVEIA-PRETA (*Avena strigosa* SCHREB. cv PFA 201601) NO CRESCIMENTO DA VIDEIRA (*Vitis vinifera* L. cv IAC 572 'JALES'.) EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE**

Florianópolis

2020

Larissa Gonçalves Faustino

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E AVEIA-PRETA (*Avena strigosa* SCHREB. cv PFA 201601) NO CRESCIMENTO DA VIDEIRA (*Vitis vinifera* L. cv IAC 572 'JALES'.) EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Biológicas, modalidade de Licenciatura, do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares

Coorientadora: Ma. Shantau Camargo Gomes Stoffel

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Faustino, Larissa Gonçalves

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E AVEIA-PRETA (Avena strigosa SCHREB. cv PFA 201601) NO CRESCIMENTO DA VIDEIRA (Vitis vinifera L. cv IAC 572 'JALES'.) EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE / Larissa Gonçalves Faustino ; orientador, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, coorientadora, Shantau Camargo Gomes Stoffel, 2020.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Vitivinicultura. 3. Metais pesados. 4. Fungos micorrízicos arbusculares. 5. aveia preta. I. Roberto Fonsêca Sousa Soares, Cláudio. II. Camargo Gomes Stoffel, Shantau. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Larissa Gonçalves Faustino

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E AVEIA-PRETA (*Avena strigosa* SCHREB. cv PFA 201601) NO CRESCIMENTO DA VIDEIRA (*Vitis vinifera* L. cv IAC 572 'JALES'.) EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciada em Ciências Biológicas” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Florianópolis, 01 de dezembro de 2020

---

Prof. Carlos Roberto Zanetti, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, Dr.  
Orientador  
MIP/CCB/UFSC

---

Shantau Camargo Gomes Stoffel, M.<sup>a</sup>  
Coorientadora  
MIP/CCB/UFSC

---

Prof. Rubens Tadeu Duarte, Dr.  
Avaliador  
MIP/CCB/UFSC

---

Anabel González Hernández, Dr.<sup>a</sup>  
Avaliadora  
MIP/CCB/UFSC

*Dedico este trabalho aos meus pais, Sérgio e Rozária,  
por todo o apoio e por serem os principais motivadores  
e responsáveis pelo que venho conquistado.*

*Minha eterna e profunda gratidão!*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de iniciar meus singelos agradecimentos a Universidade Federal de Santa Catarina, que não só possibilitou a mim uma formação de excelência como também ter me proporcionado experiências inimagináveis, que mudaram a minha vida, quem eu sou, e quem pretendo ser. Ela que foi como uma segunda casa para mim nesses últimos cinco anos e meio e que deixará ótimas lembranças.

Agradeço ao meu orientador, prof. Cláudio, que me acolheu de braços abertos no Laboratório de Microbiologia e Processos Biotecnológicos mesmo sem me conhecer, que sempre me recebeu de sorrisos abertos e me acompanhou em todo meu processo de aprendizagem, que sempre esteve disponível para reuniões e orientações mesmo tendo uma agenda super apertada, que sempre foi muito paciente e compreensivo com minhas dúvidas, e principalmente, por ter aceitado me orientar e ter confiado a mim a responsabilidade de um trabalho tão importante e lindo como este.

Agradeço imensamente a Shantau, que desde o início me integrou nas suas atividades e fez com que eu me sentisse parte da equipe, por ter sido sempre muito paciente para explicar de diversas vezes de formas diferentes se fosse necessário, por ter incentivado a minha independência e segurança quando confiou a mim parte dos seus experimentos de mestrado, por ter sempre me incentivado a estudar e aperfeiçoar meus conhecimentos e por ter cobrado o meu máximo em todos os momentos, agradeço pelos puxões de orelha, pelos elogios, pelas tardes no laboratório de muita risada, música e cantoria, pelas longas conversas sobre a vida e pelos conselhos, agradeço por ser meu maior exemplo de mulher cientista e ter me permitido fazer parte de sua vida.

Agradeço de coração ao prof. Márcio pela concessão da bolsa de Iniciação Científica que foi crucial para a produção desse trabalho e a todos os meus colegas do Laboratório de Microbiologia e Processos Biotecnológicos por sempre estarem dispostos a ajudar e tirar dúvidas, pelas conversas de bancada e de corredor, pelas trocas de experiências, e por todo o carinho que recebi, agradeço em especial ao Lucas e a Thaynara por toda a ajuda durante meus experimentos.

A minha mais sincera e profunda gratidão aos meus pais, que sempre me estimularam a estudar e a seguir meus sonhos, que não mediram esforços para que eu tivesse todas as condições necessárias para me dedicar aos meus estudos, que ofereceram a mim tudo aquilo que nunca tiveram, que permaneceram ao meu lado em todos os momentos felizes, tristes e de muito estresse, que sempre se mostraram muito interessados pelas minhas atividades e orgulhosos pelas minhas pequenas conquistas, nada disso seria possível sem vocês.

Agradeço as minhas irmãs mais novas Vanessa e Sophie por estarem comigo nas horas em que eu precisava descansar e me divertir, pelas tardes de filmes, séries e jogos, por deixarem meus dias mais leves, pelas conversas divertidas e pelo sorriso no rosto que com certeza tornaram essa trajetória mais leve.

Agradeço aos meus avós Marília, Izaltina e Aderico pelo apoio e pelo estímulo a estudar, agradeço pelo exemplo e por todo o carinho que recebi, e agradeço especialmente ao meu falecido avô Acêdino, com o qual tive longas conversas sobre a faculdade e sobre o meu futuro, mas que infelizmente partiu antes de me ver formando, com certeza estaria orgulhoso.

Agradeço também a minha melhor amiga Luana, por ter sempre ouvido meus lamentos e colocado minha auto-estima para cima quando eu achava que não conseguiria fazer algo, e pela compreensão nos momentos em que deixei de sair e me ausentei por conta de trabalhos, provas e demais responsabilidades.

Ao meu companheiro Gustavo que esteve ao meu lado e me confortou nas crises de choro e ansiedade causadas pelo estresse e sobrecarga, por sempre procurar uma maneira de me ajudar, por ser meu porto seguro e por nunca deixar eu desistir.

À Prefeitura de Garopaba pelo suporte fornecido através de ônibus gratuitos até a UFSC e aos motoristas Jonas e Nino pelo companheirismo nesses anos de mais de 140 quilômetros diários.

Agradeço ao CNPQ pelo fomento e a EMBRAPA por todo o suporte e doação das mudas de videira que utilizei neste trabalho.

Agradeço a todos os professores do curso que fizeram com que essa minha passagem na UFSC fosse inesquecível e de extrema qualidade e a todos os amigos que conquistei ao longo da graduação, que levarei comigo para o resto da vida.

Esses foram os momentos mais felizes, divertidos e desafiantes que tive em toda a minha vida. A graduação me ajudou a superar traumas, a abrir minha visão de mundo, a ter mais confiança em mim e a amadurecer. Sentirei saudades.

***“Nada na biologia faz sentido, exceto à luz da evolução.”***

Theodosius Dobzhansky, 1973

## RESUMO

Uma prática comum para o controle de doenças foliares na vitivinicultura é a utilização de fungicidas cúpricos onde frequentes aplicações resultam em acúmulo de cobre (Cu) no solo gerando toxicidade às raízes. A utilização de plantas de cobertura combinadas à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) possuem potencial para minimizar efeitos adversos desta toxicidade. A aveia-preta, como planta de cobertura atua como protetora dos atributos físicos do solo, minimizando a erosão superficial e incrementando a matéria orgânica ao solo (MOS). Enquanto isso, os FMA formam simbioses radiculares absorvendo água e nutrientes em troca de fotoassimilados, além de liberar uma glicoproteína chamada glomalina no solo. Essa combinação pode reduzir a biodisponibilidade de Cu por meio da complexação desse elemento na MOS e na glomalina. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de diferentes FMA e do pré-cultivo da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. cv PFA 201601) como planta de cobertura em mudas de videira (*Vitis vinifera* L. cv IAC 572 'JALES'.) em solo contaminado com Cu. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois fatores: a inoculação de FMA e o pré-cultivo de aveia-preta, com 5 repetições. Isolados de FMA foram inoculados em vasos com solo esterilizado obtidos das áreas de vitivinicultura contaminada por Cu (*Claroideoglossum* sp. e *Glomus* sp.), um isolado de área contaminada por rejeito de mineração de carvão (*Rhizophagus clarus* - UFSC-14), um tratamento Mix (*Claroideoglossum* sp., *Glomus* sp. e UFSC-14), o inoculante comercial Rootella™ BR (a base de *Rhizophagus intraradices*), além de um tratamento controle não inoculado. Em metade dos vasos (30 unidades) foram semeadas sementes de aveia-preta e, após 60 dias, a biomassa aérea foi coletada. Mudas de videira foram transplantadas em todos os vasos (60 unidades), permanecendo por 120 dias. Foram avaliadas a produção de biomassa da aveia-preta e da videira, além da colonização micorrízica e esporulação das plantas. Verificou-se que *Glomus* sp., UFSC-14 e o inoculante comercial favoreceram o crescimento da aveia-preta em solo com elevado teor de Cu. O pré-cultivo de aveia-preta estimulou o crescimento das mudas de videira quando inoculado com o tratamento Mix. Concluímos que a inoculação com os isolados *Glomus* sp. e UFSC-14 e o inoculante micorrízico comercial, apresentam potencial de beneficiar o crescimento da aveia-preta e da videira em solo contaminado por Cu.

**Palavras-chave:** Vitivinicultura; Contaminação do solo; Metais pesados.

## ABSTRACT

A common practice for the control of leaf diseases in viticulture is the use of cupric fungicides where frequent applications result in the accumulation of copper (Cu) in the soil, generating root toxicity. The use of cover crops combined with inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) has the potential to minimize adverse effects of this toxicity. Black oats, as a cover plant, act as a protector of the physical attributes of the soil, minimizing surface erosion and increasing soil organic matter (SOM). Meanwhile, the AMF form root symbioses absorbing water and nutrients in exchange for photoassimilates, as well as releasing a glycoprotein called glomalin in the soil. This combination can reduce the bioavailability of Cu by complexing this element in SOM and glomalin. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of inoculation of different AMF and the pre-cultivation of black oats (*Avena strigosa* Schreb. cv PFA 201601) as a cover plant in vine seedlings (*Vitis vinifera* L. cv IAC 572 'JALES'.) in soil contaminated with Cu. The experimental design was completely randomized with two factors: inoculation of AMF and pre-cultivation of black oats, with 5 replications. AMF isolates were inoculated into pots with sterile soil obtained from the vitiviculture areas contaminated by Cu (*Claroideoglomus* sp. and *Glomus* sp.), an isolate from an area contaminated by coal mining waste (*Rhizophagus clarus* - UFSC-14), a treatment Mix (*Claroideoglomus* sp., *Glomus* sp. and UFSC-14), the commercial inoculant Rootella™ BR (based on *Rhizophagus intraradices*), in addition to an uninoculated control treatment. Black oat seeds were sown in half of the pots (30 units) and, after 60 days, aerial biomass was collected. Vine seedlings were transplanted in all pots (60 units), remaining for 120 days. The biomass production of black oats and grapevines was evaluated, as well as mycorrhizal colonization and plant sporulation. It was found that *Glomus* sp., UFSC-14 and the commercial inoculant favored the growth of black oats in soil with a high Cu content. Pre-cultivation of black oats stimulated the growth of vine seedlings when inoculated with the Mix treatment. We conclude that inoculation with *Glomus* sp. and UFSC-14 and the commercial mycorrhizal inoculant, have the potential to benefit the growth of black oats and grapevines in soil contaminated by Cu.

**Keywords:** Viticulture; Ground contamination; Heavy metals;

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Desenho esquemático do delineamento experimental da terceira etapa do trabalho de videira e planta de cobertura. Inoculante comercial (a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.) e Controle (não inoculado).....25
- Figura 2 - Colonização micorrízica da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 90 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*); UFSC-14 isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*); *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe; Mix (uma mistura dos isolados UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.); NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. Barras representam erro padrão.....28
- Figura 3 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) (A), e imagem dos tratamentos da aveia-preta (B) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 90 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. Barras representam erro padrão.....30
- Figura 4 - Colonização micorrízica (A) e esporulação da videira (B) (*Vitis vinifera* L.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 120 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão

(*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14 + *Glomus* sp. + *Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. \*representam efeito significativo do mesmo tratamento de FMA entre tratamento de planta de cobertura. Barras representam erro padrão.....31

Figura 5 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) (A), raiz (MSR) (B) e total (MST) (C) de videira (*Vitis vinifera* L.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 120 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. \*representam efeito significativo do mesmo tratamento de FMA entre tratamento de planta de cobertura. Barras representam erro padrão.....33

Figura 6 - Sintomas de toxidez de cobre em folhas de videira (*Vitis vinifera* L.) cultivadas em solo com elevados teores de Cu proveniente de áreas de cultivo de videira da região da Serra Gaúcha, em Bento Gonçalves - RS.....35

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Análise físico-química dos 20 cm do solo coletado dos plantios de videira da região da Serra Gaúcha, em Bento Gonçalves - RS.....	23
--	----

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – graus Celsius

ANOVA – análise de variância

Ca(OH)<sub>2</sub> – hidróxido de cálcio

CaO – óxido de cálcio

CCB – Centro de Ciências Biológicas

CCE – Concil of the European Communties

cm – centímetros

cm<sup>3</sup> – centímetros cúbicos

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CQFS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo

CTC – capacidade de troca de cátions

Cu – cobre

CuSO<sub>4</sub> – sulfato de cobre

dm<sup>3</sup> – decímetro cúbico

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fe – ferro

FMA – Fungos Micorrízicas Arbusculares

g – grama

INVAM – International Culture Collection Of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi

kg – quilograma

mg – miligrama

MIP – Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia

MO – matéria orgânica

MOS – matéria orgânica do solo

MSPA – massa seca da parte aérea

MSR – massa seca da raiz

MST – massa seca total

NI – não inoculado

P – fósforo

pH – potencial hidrogeniônico

PMS – peso mil sementes

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	22
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>22</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>23</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO E MULTIPLICAÇÃO DOS ISOLADOS DE FMA	23
3.2 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS PLANTAS	23
3.3 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	23
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.5 AVALIAÇÕES	25
3.5.1 Extração, identificação e isolamento de esporos	25
3.5.2 Clarificação, coloração e leitura de colonização micorrízica	26
3.6 ESTATÍSTICA	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>27</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	27
4.2 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E CRESCIMENTO DA AVEIA-PRETA	27
4.3 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, ESPORULAÇÃO E CRESCIMENTO DA VIDEIRA APÓS PRÉ-CULTIVO DA AVEIA-PRETA.	31
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>37</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	<b>38</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo de videira (*Vitis vinifera* L.) possui grande importância econômica e social, destacando-se como uma das culturas de maior potencial gerador de empregos diretos e indiretos em todo o Sul do Brasil (SILVA e COELHO, 2010). Segundo o Censo Agropecuário de 2006, são em torno 32 mil estabelecimentos no país, sendo o Estado do Rio Grande do Sul, responsável por 21 mil desses estabelecimentos, dos quais 17 mil são de agricultura familiar (BRASIL, 2017). A maior produção de uvas no Brasil encontra-se nos estados do Sul, sendo o Rio Grande do Sul responsável por mais de 80% da produção nacional (CONAB, 2018), gerando em torno de 300 milhões de litros de vinho ao ano (SEBRAE, 2016). Apesar das condições abióticas favoráveis para o crescimento das videiras, as baixas temperaturas e a alta precipitação encontradas na região Sul do Brasil favorecem a liberação e a dispersão do inóculo fúngico, onde essas condições criam um ambiente propício para que ocorra uma multiplicação de doenças fúngicas foliares, como o míldio (*Plasmopara viticola* Berk. & M.A.) (SÔNEGO *et al.*, 2005), ocasionando grandes perdas na produção.

Uma prática comum para o controle dessas doenças é a utilização de fungicidas cúpricos como a calda bordalesa [ $\text{CuSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2$ ], uma mistura de sulfato de cobre e Cal (CaO) diluídos em água. O Cu é um elemento essencial para a manutenção da vida de todos os seres vivos, atua como co-fator de muitas enzimas que estão envolvidas na formação de hemoglobinas, no metabolismo de carboidratos, e em processos de antioxidação celular, fazendo parte de processos fundamentais como a fotossíntese e a respiração (YRUELA, 2005; ANDREAZZA *et al.*, 2013). O cobre pode ainda atuar diretamente nos processos nutritivos, bioquímica e fisiologia das plantas (HAQUE *et al.*, 1993). Porém o uso contínuo, mesmo sendo um dos produtos mais eficientes no combate de doenças fúngicas foliares, pode levar ao acúmulo de Cu nas camadas superficiais do solo, resultando muitas vezes em concentrações tóxicas para o crescimento vegetal (ANDREAZZA *et al.*, 2013; AMBROSINI *et al.* 2016).

Na vitivinicultura, quando há a renovação do parreiral e as plantas mais antigas são retiradas, as raízes das novas mudas podem sofrer durante o período de adaptação por diversos motivos. Nessa etapa o solo pode ser submetido a processos como o revolvimento, que estimula a oxidação da matéria orgânica do solo (MOS), podendo aumentar ainda mais a disponibilidade de Cu na solução do solo. Além disso, o cobre geralmente se concentra na porção mais superficial do solo em função da deposição pelos fungicidas foliares, onde as

raízes das mudas terão maior contato. Existem diversas formas nas quais a toxicidade é manifestada nas plantas. As elevadas concentrações de cobre podem limitar o crescimento e induzir o encurtamento das raízes das mudas de videira (CASALI *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2008; AMBROSINI *et al.*, 2015). A redução do sistema radicular limita a absorção de água e nutrientes, compromete o crescimento e estabelecimento das mudas, afetando negativamente processos importantes como a fotossíntese (MENGEL & KIRKBY, 1987; YRUELA, 2005) e pode diminuir a produtividade e a qualidade futura dos frutos (AMBROSINI *et al.*, 2015).

O Cu normalmente se liga às partículas da matéria orgânica através de ácidos fúlvicos e húmicos, onde são formados complexos estáveis retidos por ligações químicas de alto grau de energia (LUCHESE *et al.* 2002; ANDREAZZA *et al.*, 2013) o que reduz significativamente sua disponibilidade, fazendo com que não seja um problema em condições normais. O teor de Cu disponível na solução do solo pode variar em função de diferentes fatores, como o tipo de rocha de origem (KING, 1996), pH, textura, capacidade de trocas de cátions (CTC), temperatura do solo, entre outros (ANDREAZZA *et al.*, 2013), e cada solo possui uma capacidade diferente de adsorção e armazenamento de Cu. Segundo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS - RS/SC - 2016) são apresentadas faixas nutricionais de Cu disponível no solo, classificadas como baixa ( $< 0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ), média ( $0,2 - 0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e alta ( $> 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Na literatura existem outras descrições de faixas de concentração normais no solo com valores que variam entre 2 e 250  $\text{mg kg}^{-1}$  em alguns tipos de solos na América do Norte (PINTA, 1975; KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001), e esta variação é normal, pois são solos de regiões diferentes que são compostos por outros tipos de rochas. Em solos compostos por rochas ígneas ultrabásica, básica e granito, são descritos teores que variam de 10-40  $\text{mg kg}^{-1}$ , 90-100  $\text{mg kg}^{-1}$  e 10-13  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, já nas sedimentares, do tipo arenito, em média tem 35  $\text{mg kg}^{-1}$  e a do tipo calcário, 5,5 a 15  $\text{mg kg}^{-1}$  (MALAVOLTA, 1994).

A União Européia, com a finalidade de proteger o ambiente quanto ao uso descontrolado de produtos na agricultura, fixou o limite para a concentração de Cu entre 30 e 75  $\text{mg kg}^{-1}$  no solo (CCE, 1986). Contudo, a toxicidade do cobre do solo para as plantas depende mais do conjunto de fatores de solo como pH, teor de argila, conteúdo de matéria orgânica e estado nutricional da planta (ROSS, 1994) do que o fator concentração do metal isoladamente.

O cobre ainda pode atuar como um potencial poluidor em as concentrações de Cu no solo podem ser ainda mais elevadas. Segundo McBride (1994), concentrações de Cu

disponível no solo acima das concentrações descritas como normais, já podem ser classificados como “contaminados”, como demonstrado por Munhoz *et al.* (2014), o Cu em altas concentrações pode exceder a capacidade de retenção do solo e ser disponibilizado na solução do solo.

Em geral os teores de cobre nos solos brasileiros são considerados baixos (ABREU *et al.*, 2001; GIROTTO *et al.*, 2010). Em solos cultivados sem a adição deste elemento, variam entre 5 e 40 mg kg<sup>-1</sup> (JACKSON, 1964), e valores entre 60 e 125 mg kg<sup>-1</sup> já podem ser tóxicos para algumas espécies de plantas (ALLOWAY, 1990; KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Mesmo que os solos das regiões vinícolas do Rio Grande do Sul possuam grande capacidade de adsorção de cobre, as aplicações sucessivas de fungicidas cúpricos têm provocado o aumento dos teores de cobre, atingindo valores muito acima dos naturais (MANTOVANI, 2009). As plantas possuem diferentes graus de sensibilidade à presença do cobre, além disso, a determinação da fitotoxicidade deste elemento é difícil, pois ele pode ser acumulado no sistema radicular, danificando primeiramente esta parte (MCBRIDE, 2001).

O aumento da concentração de Cu disponível também pode gerar pressões de seleção sobre os microrganismos do solo que metabolizam esses compostos, onde os microrganismos que são mais resistentes ou tolerantes são capazes de se multiplicar, e podem inibir o crescimento dos outros microrganismos que não são capazes de metabolizar esses compostos (ANDREAZZA *et al.*, 2013; CARDOSO *et al.*, 2016). Essa pressão de seleção pode levar a uma perda da diversidade funcional da comunidade microbiana do solo, interferindo em diferentes etapas da ciclagem de nutrientes e decomposição de resíduos vegetais (HUNGRIA *et al.*, 2013). Como a vitivinicultura destaca-se como uma das principais atividades com potencial poluidor de Cu (ANDREAZZA *et al.*, 2013), é extremamente importante investir em práticas eficientes que reduzam o uso de produtos químicos, e minimizem os efeitos nocivos das aplicações de fungicidas cúpricos.

A biorremediação é uma área da ciência que consiste em combinar processos biotecnológicos com a engenharia ambiental, a fim de amenizar os problemas causados pela contaminação ambiental, imobilizando ou removendo os poluentes do ambiente (ANDREAZZA *et al.*, 2013; CARDOSO *et al.*, 2016). Na vitivinicultura, a remediação por métodos químicos e físicos é custosa e ineficiente (ANJOS *et al.*, 2012), tornando a biorremediação uma alternativa atrativa, principalmente através do uso de plantas e microrganismos capazes de reduzir a biodisponibilidade do Cu, seja metabolizado em seu

organismo, liberando substâncias que podem reter esse metal ou até mesmo alterando as propriedades físico-químicas do solo (ANDREAZZA *et al.*, 2013).

A fitorremediação é um processo natural onde as plantas sequestram, degradam, ou imobilizam o poluente, e inclui técnicas como a fitoextração e a fitoestabilização (VENDRUSCOLO, 2013). A fitoextração é uma prática dentre as opções de biorremediação, e consiste no uso de uma planta para a imobilização de metais pesados por diferentes estratégias, como a absorção das raízes, onde são transportados e concentrados na parte aérea. A fitoestabilização é quando as plantas atuam como estabilizadores do metal no solo, diminuindo a sua movimentação (VENDRUSCOLO, 2013). Essa proteção do solo é feita com o cultivo de gramíneas, leguminosas, entre outras, pois possuem alta capacidade de produção de matéria seca (VARGAS e OLIVEIRA, 2005).

Existem diversas espécies de plantas que podem ser utilizadas para cobertura do solo, como a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e a aveia-branca (*Avena sativa* L.). As aveias são gramíneas anuais resistentes a temperaturas baixas, com desenvolvimento nos meses mais frios, sendo propícias para áreas com registros frequentes de geadas (PITOL, 1988). Além disso, a aveia tornou-se uma planta de grande importância agrícola por serem resistentes à seca, tolerantes ao alumínio, com baixa incidência de pragas e doenças, de fácil produção de sementes e de baixo custo (PITOL, 1988; MACHADO, 2000). A aveia também pode produzir biomassa rapidamente, e formar uma densa cobertura sobre o solo, dificultando a incidência de plantas espontâneas (SANTOS *et al.*, 1990).

O crescimento da aveia pode promover melhorias nas características físico-químicas do solo por protegê-lo contra erosão (CALEGARI, 2006), favorecer a atividade microbiana e a ciclagem de nutrientes (DE-POLLI *et al.*, 1996). Sendo assim, a aveia como planta de cobertura pode influenciar no rendimento de culturas subsequentes, como apresentado no trabalho de Derpsch e Calegari (1985), onde foi observado um aumento de 38% e 69% no rendimento de grãos da soja e do feijão, respectivamente, quando cultivadas em sucessão à aveia-preta.

Os efeitos do uso de plantas de cobertura podem ser potencializados com a inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) (BENEDETTI *et al.*, 2005). Os FMA estabelecem uma associação simbiótica obrigatória com as plantas (SMITH e READ, 1997), e só completam seu ciclo de vida quando em simbiose com as raízes de plantas (VARMA, 2008). Os FMA podem melhorar o crescimento das plantas, assim como as plantas estimulam o crescimento dos FMA e a germinação de esporos através da exsudação de

substâncias sinalizadoras, como por exemplo os flavonoides. (BAPTISTA, 1993), otimizando o processo de biorremediação. Esses organismos co-evoluíram, criando estratégias que garantem a sobrevivência de ambos, principalmente em condições desfavoráveis (REDECKER, 2002; BERBARA *et al.*, 2006; ANDREAZZA *et al.*, 2013).

As hifas dos FMA agem como extensões das raízes, potencializando a absorção de água e nutrientes mesmo em baixas concentrações no solo, podendo estimular a produção vegetal quando comparadas a plantas não inoculadas (ROSA *et al.*, 2016). Além disso, os FMA também podem proteger as plantas contra ataques de patógenos por conta de modificações na fisiologia da planta que após a colonização micorrízica ativam seus mecanismos de defesa (BERBARA *et al.*, 2006).

Os FMA são capazes de produzir glomalina (RILLIG, 2004), uma glicoproteína hidrofóbica que desempenha papel extremamente importante para a estabilização dos agregados do solo (BEDINI *et al.*, 2009). A glomalina tem a capacidade de agir como um quelante, formando uma ligação com os metais (SOUSA *et al.*, 2012) e os indisponibilizando na solução do solo, e conseqüentemente para as plantas (VODNIK *et al.*, 2008).

Resultados apresentados nos trabalhos de Rosa *et al.* (2016) e Ambrosini *et al.* (2015) demonstram que os FMA podem aumentar a absorção de P e reduzir a absorção de Cu pela videira em solos contaminados por Cu. Esta característica torna a inoculação de FMA no cultivo de plantas de cobertura uma prática muito interessante em solos contaminados com metais como o Cu. Esses benefícios podem favorecer o crescimento e adaptação de mudas em jovens vinhedos, principalmente em condições de estresse (AMBROSINI *et al.*, 2015).

Apesar desses benefícios proporcionados pela inoculação FMA no crescimento da videira em solos contaminados por Cu (ROSA *et al.*, 2016; AMBROSINI *et al.*, 2015), o excesso de Cu pode diminuir o potencial de inóculo de FMA no solo por levar ao encurtamento das raízes das videiras jovens (CASALI *et al.*, 2008). Práticas que visam aumentar o número de propágulos desses fungos via aplicação de inoculantes comerciais ou pela utilização de plantas multiplicadoras de FMA como as plantas de cobertura, podem ser ótimas alternativas para que os efeitos positivos dos FMA sobre as plantas sejam observados. A exemplo o uso de plantas de cobertura, como a aveia (BENEDETTI *et al.*, 2005) e pela inoculação de isolados de FMA que apresentem maior resistência e adaptação a essas condições, como isolados de áreas de vinhedos contaminados com Cu.

Segundo o trabalho de Lermen *et al.* (2012), a inoculação de FMA na aveia estimula o crescimento vegetal promovendo maior densidade de esporos no solo, afetando dessa forma,

a composição, diversidade e quantidade de propágulos FMA no solo. Segundo Souza *et al.* (1999), esse crescimento se deve, entre outros fatores, ao sistema radicular fasciculado da aveia, que favorece a colonização micorrízica por se tratar de um sistema radicular ramificado e possuir grande quantidade de radículas finas e longos pêlos absorventes, aumentando assim a sua área de contato com o solo e a probabilidade de contato com propágulos dos fungos presentes no solo. Apesar dos benefícios descritos para a aveia, em um estudo realizado por Santos *et al.* (2004) constatou-se que a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) sofreu com a adição de doses crescentes de cobre no solo, apresentando grande redução do crescimento nas doses a partir de 100 mg kg<sup>-1</sup> de cobre no solo.

Dessa forma, a implementação de práticas de manejo sustentáveis em sistemas agrícolas como o da vitivinicultura, é importante para minimizar os efeitos negativos da aplicação de fungicidas cúpricos nesses ambientes (ANDREAZZA *et al.*, 2013). O uso das plantas de cobertura associadas à inoculação com FMA previamente selecionados em estudos científicos, focando no crescimento e estabelecimento das mudas de videira e na imobilização de metais pesados podem ser boas alternativas para solucionar o problema de toxicidez de cobre em parreirais jovens. Essas práticas têm se mostrado muito eficientes por sua capacidade de melhorar as qualidades físico-químicas do solo, e o desenvolvimento de pesquisas para desenvolver e aperfeiçoar técnicas sustentáveis é de alta relevância.

Sendo assim, foram avaliados os efeitos da inoculação de isolados de FMA no plantio de aveia-preta e mudas de videira, com o objetivo de reduzir o efeito tóxico para as plantas das concentrações elevadas de Cu no solo, oriunda da frequente aplicação de fungicidas cúpricos em parreirais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o efeito da inoculação de diferentes FMA e do pré-cultivo da aveia-preta como planta de cobertura no crescimento de mudas de videira em solo contaminado com cobre.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o efeito de isolados de FMA no crescimento e colonização micorrízica da aveia-preta em solo contendo elevados teores de Cu;
- Avaliar a esporulação e a colonização micorrízica dos isolados de FMA sob o efeito do pré-cultivo de aveia-preta em mudas de videira;
- Avaliar o efeito do pré-cultivo de aveia-preta e inoculação de isolados de FMA na produção de biomassa de videira em solo contendo elevados teores de Cu;

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 IDENTIFICAÇÃO E MULTIPLICAÇÃO DOS ISOLADOS DE FMA

Para esse experimento foram utilizados quatro isolados de FMA, sendo dois deles dos gêneros *Glomus* sp. (Tul. & C.Tul.) e *Claroideoglomus* sp. (C. Walker & A. Schüßler), provenientes de áreas de vitivinicultura contaminados por Cu do Alto Vale do Rio do Peixe - SC, estudados no trabalho de Bezerra (2020), o isolado UFSC-14 (*Rhizophagus clarus* (Nicolson & Schenck) Walker & Schüßler) de áreas contaminadas por rejeito de mineração de carvão estudados no trabalho de Stoffel (2016) e o inoculante comercial Rootella™ BR (a base de *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler) com eficiência comprovada para culturas como milho e soja (STOFFEL, 2020a; 2020b). Os isolados foram inoculados em vasos de 2,0 dm<sup>3</sup> com solo estéril com sementes de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) para a multiplicação dos esporos.

#### 3.2 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS PLANTAS

A cultivar de aveia-preta utilizada foi PFA 201601, com percentual de germinação de 76% e PMS (peso de mil sementes) de 14,4 g. Foram semeadas 10 sementes em cada vaso com volume de 2,0 dm<sup>3</sup> contendo solo esterilizado a 121 °C por 60 minutos.

O porta-enxerto das mudas de videira utilizadas foi IAC 572 ‘Jales’, que foram produzidas *in vitro* e doadas pela EMBRAPA.

#### 3.3 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado em todo o experimento foi coletado no mês setembro de 2019 na camada de 0-20 cm de profundidade em áreas de plantios de videira da região da Serra Gaúcha, em Bento Gonçalves, e suas características físico-químicas são apresentadas na Tabela 1, e não foram adubados.

**Tabela 1.** Análise físico-química dos 20 cm do solo coletado dos plantios de videira da região da Serra Gaúcha, em Bento Gonçalves - RS.

Argila %	pH 1:1	SMP	P		M.O g kg <sup>-1</sup>	Al	Ca	Mg	Cu	
			mg dm <sup>-3</sup>							
19	5,8	5,9	40,9	202	38	0,0	65,1	17,7	204	
H+Al		CTC	% SAT CTC		% SAT BASES			RELAÇÕES		
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-1</sup>			BASES	Al	Ca	Mg	K	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K
48,9		137	64	0	74	20	6	3,7	13	3

Dados fornecidos pela EMBRAPA - Uva e Vinho.

### 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Microrganismos e Processos Biotecnológicos do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia da Universidade Federal de Santa Catarina (MIP/CCB-UFSC) no período de abril de 2019 a junho de 2020. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois fatores: a inoculação de FMA e o pré-cultivo ou não de aveia-preta antecedendo o cultivo das mudas de videira.

Na 1<sup>o</sup> etapa foram montados 60 vasos com solo autoclavado e contaminado por Cu das áreas de vitivinicultura de Bento Gonçalves (Tabela 1), onde foram inoculados com seis tratamentos de FMA descritos a seguir: um controle não inoculado (NI), dois dois morfotipos de FMA isolados de áreas de plantios de videira com alta concentração de Cu testados isoladamente (*Glomus* sp. (Tul. & C.Tul.) e *Claroideoglomus* sp. (C. Walker & A. Schüßler)), o isolado UFSC-14 proveniente de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus* (Nicolson & Schenck) Walker & Schüßler), um mix com esses três isolados de FMA, e o inoculante comercial Rootella<sup>TM</sup> BR (*Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler). Em seguida, na metade dos vasos (30 unidades) foram semeadas sementes de aveia-preta, totalizando 5 repetições para cada tratamento de inoculação, sendo mantidas até o final do ciclo de crescimento da planta, com duração de aproximadamente 90 dias.

Foram inoculados 30 esporos em cada vasos, com exceção do tratamento Mix, onde foram 90 esporos, sendo estes a soma dos 3 isolados que compõem o tratamento (*Glomus* sp., *Claroideoglomus* sp. e UFSC-14)

Na 2<sup>o</sup> etapa, após a coleta da biomassa aérea da aveia-preta, mudas de videira foram transplantadas para todos os 60 vasos (com e sem o pré-cultivo de aveia da etapa anterior) (Figura 1), e permaneceram por 120 dias. A rega foi manual e não foram utilizados fertilizantes ou adubação. Após 120 dias o experimento foi desmontado onde foram cortadas a biomassa da parte aérea e raiz da videira, e amostras de solo.

## Delimitação Experimental

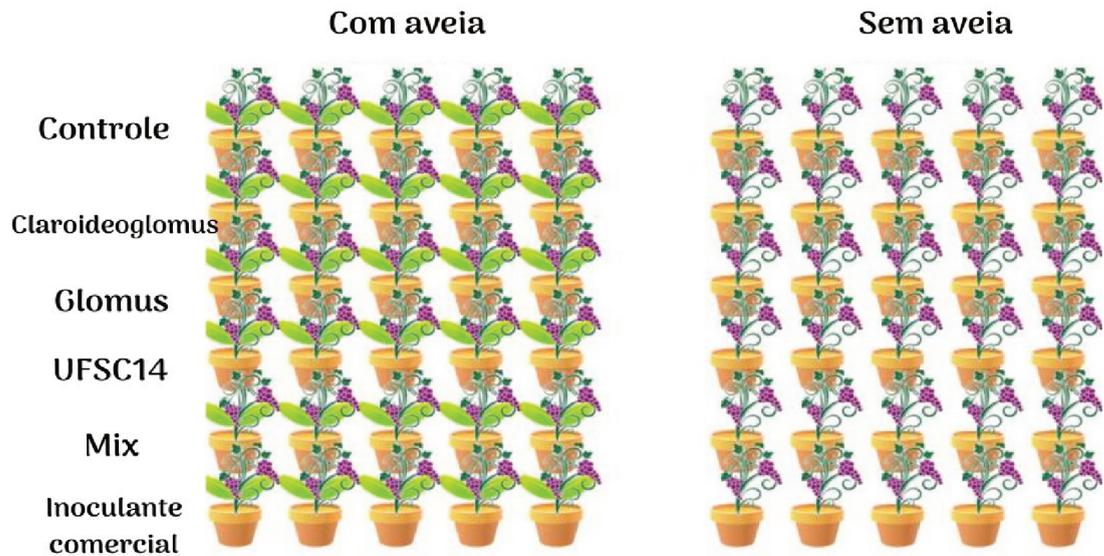


Figura 1. Desenho esquemático do delineamento experimental da terceira etapa do trabalho de videira e planta de cobertura. Inoculante comercial (a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.) e Controle (não inoculado).

### 3.5 AVALIAÇÕES

As biomassas aérea (PA) da aveia-preta e da videira e a biomassa radicular (PR) da videira, foram coletadas ao final dos experimentos e secas em estufa com circulação de ar forçada à 60 °C para posterior determinação do peso seco em balança digital com precisão de 0,001 g. Foram também retiradas amostras da PR da aveia-preta e da videira para realizar a leitura de colonização micorrízica e amostras de solo (50 ml) para a extração e contagem de esporos.

#### 3.5.1 Extração, identificação e isolamento de esporos

As extrações dos esporos para isolamento e contagem ao final da 1° e 2° etapa, foram realizadas pelo método de peneiramento úmido (GERDEMANN e NICOLSON, 1963) com amostras de 50 cm<sup>3</sup> de solo, seguido de centrifugação em sacarose 50% (JENKINS, 1964). Os esporos de dois gêneros de isolados foram identificados através da morfologia de cada gênero descrita através da Coleção Internacional de Culturas de Fungos Micorrízicos Arbusculares - INVAM (2020).

### 3.5.2 Clarificação, coloração e leitura de colonização micorrízica

Amostras de 2,0 g de raízes de aveia-preta e videira foram coletadas ao final dos experimentos e submetidas à clarificação e coloração com azul de tripan (KOSKE e GEMMA, 1989) para determinação do percentual de colonização micorrízica. Para isso as raízes coradas foram organizadas em lâminas para análise em aumento de 200x em microscópio óptico pelo método descrito por McGonigle *et al.* (1990), identificando as estruturas dos FMA, como hifas, arbúsculos e vesículas.

### 3.6 ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variâncias (Bartlett) e ANOVA, e a comparação de médias foi realizada pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando-se o software SISVAR v.5.3 (FERREIRA, 1998). Os dados de percentual de colonização micorrízica foram normalizados pela transformação (Equação 1): arc coseno  $\sqrt{\frac{\%colonização}{100}}$ .

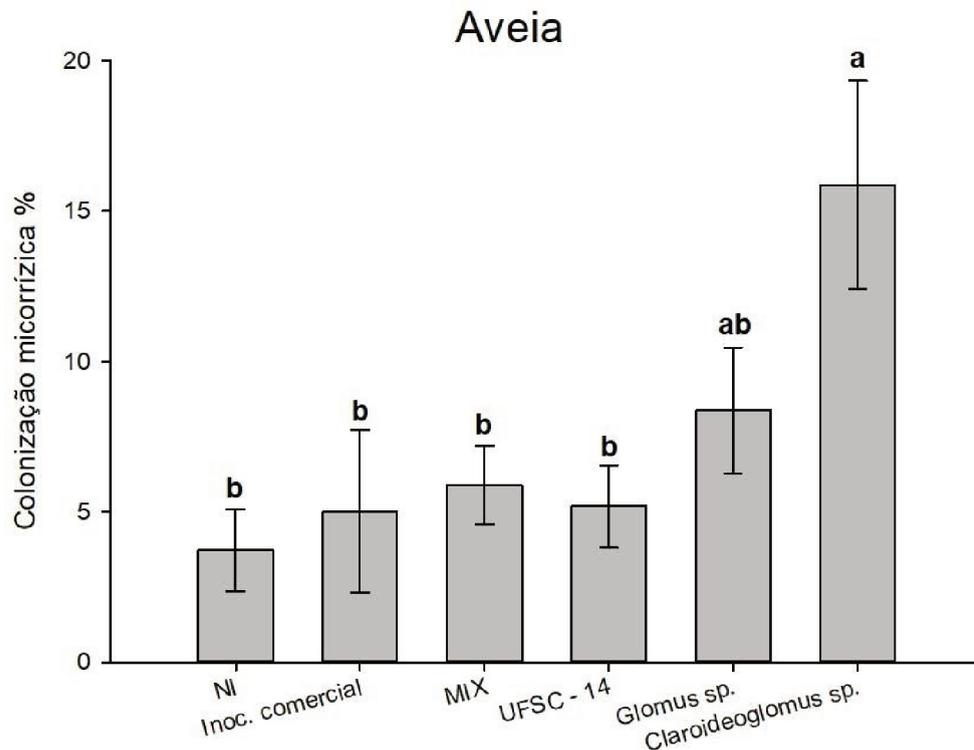
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

O solo utilizado neste estudo, cuja as características químicas podem ser vistas na Tabela 1 apresenta alta fertilidade por conta de seus altos teores de P, K e MO (CQFS - RS/SC - 2016). Entretanto a concentração de Cu neste solo foi de 204 mg Cu dm<sup>-3</sup> (Tabela 1), que segundo trabalho de Santos *et al.* (2004), constataram efeito fitotóxico na aveia-preta a partir da administração de uma dose de 100 mg Cu kg<sup>-1</sup>, demonstrando que o solo trabalhado neste experimento pode ser considerado contaminado com Cu. O principal sintoma de toxicidade por cobre é a redução do crescimento das raízes o que pode provocar uma diminuição da absorção de água e de nutrientes, e conseqüentemente uma redução na produção de biomassa (MENGEL & KIRKBY, 1987).

### 4.2 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E CRESCIMENTO DA AVEIA-PRETA

Os FMA são capazes de promover o crescimento de plantas em diversas situações, principalmente em condições adversas, porém, o crescimento e associação podem ser inibidos pelas plantas quando há uma elevada concentração e disponibilidade de P (HIPPLER E MOREIRA, 2013). Neste experimento, como apresentado na Tabela 1, o P foi classificado como elevado, fator que pode ter dificultado a associação dos FMA com a aveia-preta (AZCON-AGUILAR, BAREA, 1996), sendo esta uma hipótese para explicar o baixo percentual de colonização micorrízica deste tratamento (Figura 2), onde o controle (NI), o inoculante comercial, Mix e UFSC-14 não apresentaram diferenças estatísticas entre si.



**Figura 2.** Colonização micorrízica da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 90 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*); UFSC-14 isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*); *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe; Mix (uma mistura dos isolados UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.); NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. Barras representam erro padrão.

O isolado *Claroideoglomus* sp. foi o único que apresentou diferença estatística quando comparado ao controle (Figura 2), sendo o isolado com maior percentual de colonização micorrízica na aveia-preta (acréscimo médio de 300% sobre o tratamento NI). Este resultado pode indicar uma boa interação do isolado *Claroideoglomus* sp. por apresentar uma colonização micorrízica na aveia-preta mais expressiva do que nos demais. Outro fator que pode ter feito o *Claroideoglomus* sp. colonizar mais a aveia-preta que os demais (Figura 2) é o fato de que foi isolado de áreas de cultivo de videira com altos níveis de Cu no solo (Tabela 1), onde esse isolado pode ter se adaptado a essas condições, e consiga se desenvolver mesmo na presença de elevadas quantidades de Cu.

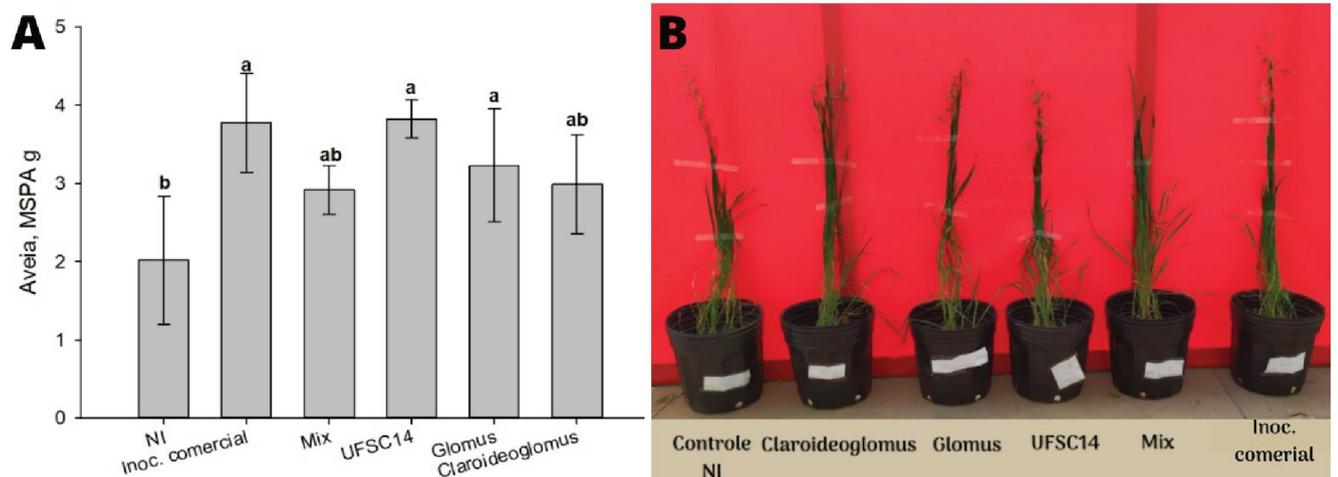
Apesar da maior colonização do isolado *Claroideoglomus* sp. neste experimento, a colonização micorrízica da aveia-preta foi menor quando comparada a resultados de outros trabalhos. Segundo o trabalho de Costa *et al.* (1989), a colonização micorrízica da

aveia-amarela (*Avena byzantina* C. Koch) variou em média de 11% (micorrizas nativas do solo) a 82% (FMA inoculados) e da aveia-preta de 14% (micorrizas nativas do solo) a 77% (FMA inoculados), representando um acréscimo médio de 234% e 231% sobre a média observada neste experimento com *Claroideoglossum* sp. em aveia-preta, respectivamente. Resultados semelhantes podem ser observados no trabalho de Gomide *et al.* (2009), onde a média da colonização micorrízica da aveia-preta foi de 70%. O trabalho de Yang *et al.* (2010) apresentou uma média de colonização micorrízica de aveia-comum/aveia-branca (*Avena sativa* L.) de 50% entre as três cultivares analisadas e de aveia-nua (*Avena nuda* L.) de 54%.

Sendo assim, apesar do isolado *Claroideoglossum* sp. ter apresentado maior colonização na aveia-preta (Figura 2) este valor ainda é baixo quando comparado a outros trabalhos feitos em solos sem elevados teores de P e Cu (COSTA *et al.*, 1989; GOMIDE *et al.*, 2009 ; YANG *et al.*, 2010), podendo indicar que o elevado nível de P e de Cu no solo (Tabela 1) podem ter ocasionado efeitos negativos sobre a associação da colonização micorrízica da aveia-preta.

Pode-se também observar que houve colonização micorrízica no tratamento NI (não inoculado), o que pode indicar uma contaminação de alguns vasos do experimento, entretanto o percentual de colonização neste tratamento não foi expressivo, e não ocorreu em todas as repetições do tratamento controle (Figura 2). Sobre os resultados do isolado *Glomus* sp. (Figura 2), apesar de não ser significativamente igual ao controle, a inoculação com *Glomus* sp. foi estatisticamente similar ao percentual de colonização do *Claroideoglossum* sp.

A produção de biomassa da parte aérea da aveia-preta cultivada em solo com elevado teor de Cu teve uma tendência a ser maior quando inoculada com os isolados UFSC-14 (acrécimo médio de 100% sobre o tratamento NI), o inoculante comercial (acrécimo médio de 96% sobre o tratamento NI) e o isolado *Glomus* sp. (acrécimo médio de 60 % sobre o tratamento NI) (Figura 3). O maior crescimento das plantas inoculadas (Figura 3) pode ser em função dos diferentes mecanismos de ação que os FMA possuem, atuando na maior absorção de água e nutrientes, principalmente em situação de estresse como a elevada concentração de Cu no solo. O isolado UFSC-14, isolado das áreas contaminadas por mineração de carvão e o inoculante comercial, apesar de não terem colonizado a aveia-preta em quantidades significativas (Figura 2) apresentaram em média 33% a mais de produção de biomassa quando comparados ao isolado *Claroideoglossum* sp. proveniente das áreas de plantio de videira com altos teores de Cu que teve a maior colonização micorrízica na aveia-preta (Figura 2).

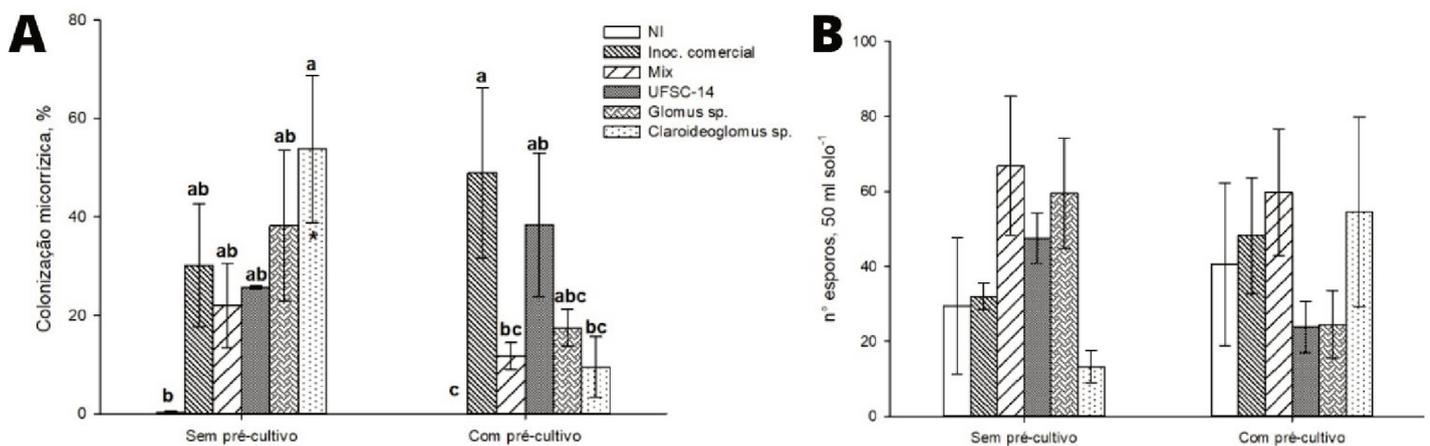


**Figura 3.** Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) (A), e imagem dos tratamentos da aveia-preta (B) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 90 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. Barras representam erro padrão.

O isolado *Glomus* sp., por ser proveniente de áreas de vitivinicultura com altos teores de Cu, podem possuir maior resistência e adaptação a essas condições, já o isolado UFSC-14 (*R. clarus*) das áreas de rejeito de minas, apresentou-se eficiente no crescimento de bracatinga e maricá (STOFFEL *et al.*, 2016) mesmo em condições adversas, enquanto o inoculante comercial é um produto disponível no mercado com eficiência testada e comprovada para culturas como a soja e o milho (STOFFEL *et al.*, 2020a; STOFFEL *et al.*, 2020b;) e por isso podem ter promovido maior produção de biomassa na aveia-preta. Esses resultados indicam um potencial dos isolados UFSC-14 e *Glomus* sp. e do inoculante comercial em amenizar o efeito da elevada concentração de Cu e favorecer o crescimento da aveia-preta, mesmo se a colonização micorrízica for baixa. Esse resultado pode ser devido a capacidade dos mesmos em produzir maior quantidade de micélio extrarradicular (KOIDE, 1991) ou pela capacidade produtora de glicoproteínas, como a glomalina (RILLIG, 2004), que são capazes de promover retenção de Cu e com consequência uma melhoria do crescimento da aveia-preta.

### 4.3 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, ESPORULAÇÃO E CRESCIMENTO DA VIDEIRA APÓS PRÉ-CULTIVO DA AVEIA-PRETA.

A colonização radicular das mudas de videira variou entre os tratamentos de inoculação e entre as plantas que receberam ou não o pré-cultivo de aveia-preta (Figura 4A). Nas plantas sem o pré-cultivo de aveia-preta, o maior percentual médio de colonização foi observado no tratamento com a inoculação de *Claroideoglomus* sp., enquanto que nas plantas com pré-cultivo de aveia-preta, o maior percentual médio de colonização foi no tratamento inoculado com o inoculante comercial (Figura 4A). Entretanto, o percentual de colonização não diferiu entre as plantas inoculadas sem o pré-cultivo de aveia.



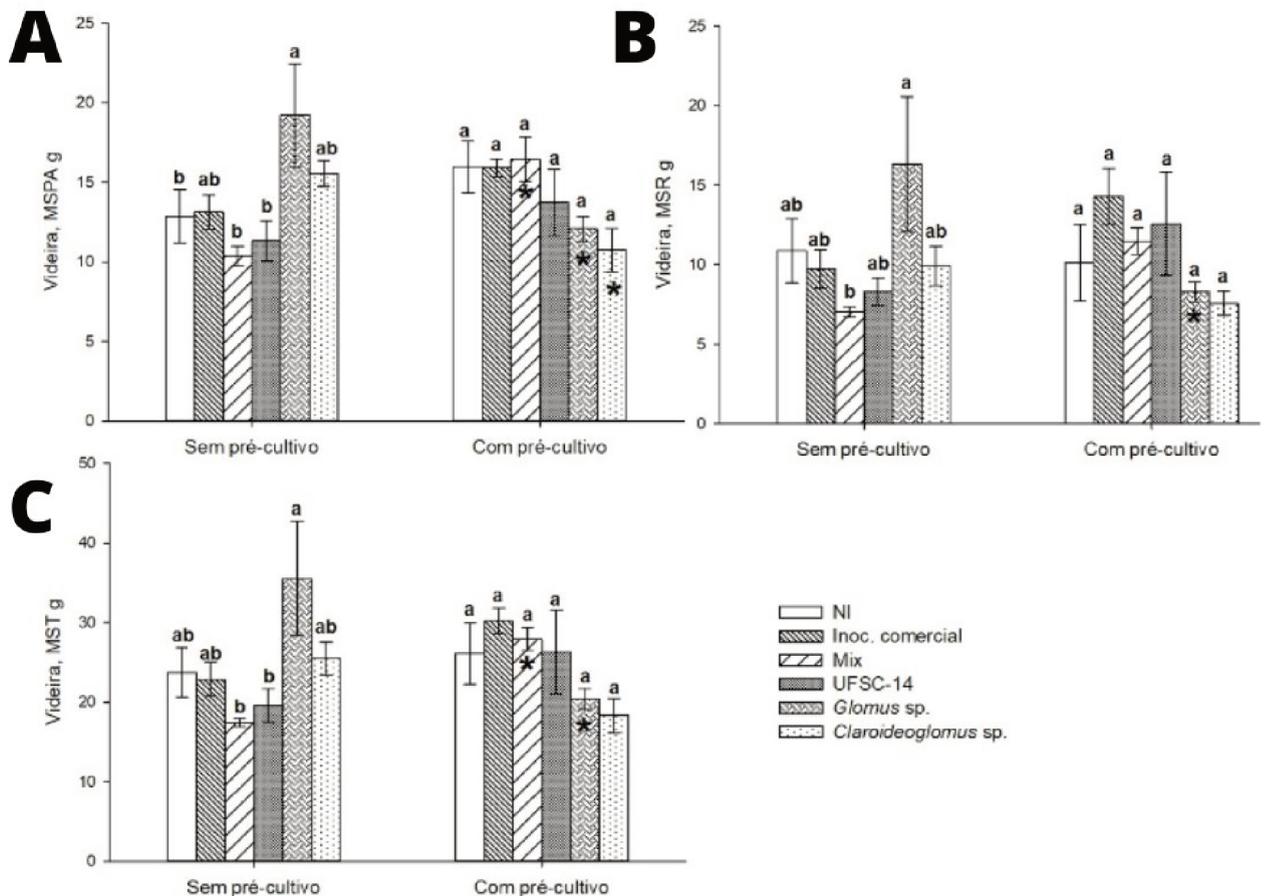
**Figura 4.** Colonização micorrízica (A) e esporulação da videira (B) (*Vitis vinifera* L.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 120 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*). UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*). *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14 + *Glomus* sp. + *Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. \*representam efeito significativo do mesmo tratamento de FMA entre tratamento de planta de cobertura. Barras representam erro padrão.

Pode-se observar que o isolado *Claroideoglomus* sp. além da maior colonização na aveia-preta (Figura 2), também apresentou o maior percentual médio de colonização na videira quando não foi pré-cultivada com aveia-preta (Figura 4A), entretanto, quando multiplicado com pré-cultivo com aveia-preta este valor não foi significativo. É possível que os isolados pré-cultivados com aveia-preta, tenham se adaptado e modificado suas características genéticas para aumentar sua compatibilidade com a planta. Trabalhos como o de Colard *et al.*, (2011) e Croll *et al.* (2009), mostram que o perfil genético de um isolado multiplicado em diferentes condições pode variar e ser alterado no decorrer dos ciclos de

multiplicação para que a simbiose se torne extremamente específica com a planta e assim apresentar melhores resultados. Este comportamento sugere que os propágulos iniciais do isolado apresentavam um maior potencial de colonização radicular. Outra hipótese é que o *Claroideoglossum* sp. colonize mais rápido o sistema radicular da aveia-preta e mais lentamente a videira, o que pode se devido ao sistema fasciculado da aveia-preta que favorece a colonização micorrízica (SOUZA et al., 1999) ou mesmo a diferentes responsabilidades das espécies vegetais à inoculação.

A colonização radicular da videira com o isolado *Claroideoglossum* sp. variou entre plantas que foram cultivadas em vasos com e sem o pré-cultivo de aveia-preta (Figura 4A), onde foi possível observar uma tendência inversamente proporcional deste isolado entre colonização (Figura 4A) e esporulação (dados não avaliados) (Figura 4B), ou seja, quando a colonização foi elevada, a esporulação foi menor, e o contrário também aconteceu. Esta relação inversa entre colonização e esporulação pode ser em função de estresses sobre as mudas de videira, que podem ter sido causados pelo excesso de Cu no solo. A planta pode ter diminuído o fornecimento de fotoassimilados para o FMA em decorrência de uma redução de sua atividade fisiológica (BRUNDRETT et al., 1999) e nessas condições o FMA passou a investir a energia que lhe restava para produzir esporos (Figura 4B) e garantir a sua propagação quando as condições estiverem mais favoráveis, já que os esporos são estruturas de resistência e adaptação dos FMA (CAPRONI et al., 2001; COLLIER et al., 2003). Apesar desta tendência, a esporulação dos isolados apresentou grande variação e não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 4B).

O pré-cultivo de aveia-preta promove modificações físico, químicas e biológicas que podem colaborar com a atividade biológica do solo (CALEGARI, 2006), e conseqüentemente facilitar o crescimento dos cultivos subsequentes, bem como a inoculação com isolados de FMA selecionados pode promover o crescimento vegetal pelo maior aporte de água e nutrientes (ROSA et al., 2016). Esses efeitos podem ser observados no crescimento das mudas de videira, sob o efeito do pré-cultivo ou não aveia-preta e inoculadas com diferentes isolados de FMA (Figura 5).



**Figura 5.** Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) (A), raiz (MSR) (B) e total (MST) (C) de videira (*Vitis vinifera* L.) crescida em solo com elevados teores de Cu provenientes das áreas de cultivo de videira em Bento Gonçalves após 120 dias inoculada com: Inoc. comercial (inoculante comercial a base de *R. intraradices*), UFSC-14, isolado de áreas contaminadas por mineração de carvão (*Rhizophagus clarus*), *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. isolados de áreas de cultivo de videira com elevados teores de Cu provenientes do Alto Vale do Rio do Peixe. Mix (UFSC-14+*Glomus* sp.+*Claroideoglomus* sp.). NI (não inoculado). Letras diferentes representam efeito significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos de inoculação no mesmo tratamento de pré-cultivo. \*representam efeito significativo do mesmo tratamento de FMA entre tratamento de planta de cobertura. Barras representam erro padrão.

O pré-cultivo de aveia-preta pode promover melhorias nas características físico-químicas do solo, protegendo-o contra erosão superficial (CALEGARI, 2006) e acelerar a ciclagem de nutrientes (DE-POLLI *et al.*, 1996). Estas melhorias promovidas pelo pré-cultivo de aveia-preta podem ser uma explicação do porque a produção de MSPA, MSR e a MST das videiras com o pré-cultivo de aveia-preta foram estatisticamente iguais entre os tratamentos de inoculação (Figura 5A, 5B e 5C). Neste experimento, o pré-cultivo de aveia-preta pode ter mitigado o efeito fitotóxico da elevada concentração de Cu no solo sobre as mudas de videira e melhorado as características físico-químicas do solo, resultando no crescimento homogêneo. O trabalho produzido por Souza *et al.* (1999) corrobora com os

resultados de crescimento observados neste experimento (Figura 5), onde é constatada maior produção de MSPA e MSR das culturas plantadas após o cultivo de plantas de cobertura e inoculadas com FMA. Derpsch e Calegari (1985), observaram que a presença de plantas de coberturas como a aveia-preta, incentivam o crescimento e influenciam positivamente no rendimento das culturas subsequentes, e observaram aumentos de 38% e 69% no rendimento de grãos da soja e do feijão, respectivamente, quando semeados após o plantio de uma planta de cobertura.

O sistema radicular fasciculado da aveia-preta pode favorecer a colonização micorrízica por ser mais ramificado e por possuir pêlos absorventes longos, o que aumenta a área superficial de contato com o solo (SOUZA *et al.*, 1999). O tratamento Mix com o pré-cultivo de aveia-preta se mostrou eficiente na promoção de MSPA e MST (Figura 5A e 5C) quando comparado ao mesmo tratamento de inoculação quando sem pré-cultivo, mesmo tendo sua colonização micorrízica da videira relativamente baixa (Figura 4A). Enquanto que o isolado *Glomus* sp. das áreas de plantio de videira com altos níveis de Cu, se mostrou mais eficiente na promoção da produção de MSPA e MST (Figura 5) quando sem o pré-cultivo de aveia-preta em comparação ao mesmo tratamento de inoculação quando com o pré-cultivo de aveia-preta. Esse resultado pode ser devido à redução do percentual de colonização micorrízica dos mesmos tratamentos (Figura 4A), pois como já citado anteriormente, pode estar relacionado às mudanças genéticas (CROLL *et al.*, 2009) causadas pela adaptação dos isolados com a aveia-preta, onde uma vez adaptados a ela, não foram capazes de colonizar bem a videira.

Apesar da possível mitigação do efeito fitotóxico promovida pelo pré-cultivo de aveia-preta, sintomas de toxidez nas folhas de videira foram observados em todos os tratamentos (Figura 6), mostrando que independente do pré-cultivo com aveia-preta ou inoculação com isolados de FMA, as mudas ainda assim sofreram com a elevada concentração de Cu neste solo (Tabela 1). Nas folhas se pode observar clorose internerval (clorose induzida por Fe), como já foi observado anteriormente por Michaud *et al.* (2007) em trigo cultivado em solos calcários contaminados por cobre.



**Figura 6.** Sintomas de toxidez de cobre em folhas de videira (*Vitis vinifera* L.) cultivadas em solo com elevados teores de Cu proveniente de áreas de cultivo de videira da região da Serra Gaúcha, em Bento Gonçalves - RS.

Alguns isolados de FMA podem se mostrar muito eficientes quando em condições adversas (como por exemplo solos com elevada concentração de Cu). Neste experimento, nas mudas crescidas em vasos sem o pré-cultivo de aveia-preta, foi possível observar efeito positivo do tratamentos de inoculação com *Glomus* sp., que promoveu na MSPA acréscimo de aproximadamente 36% sobre o tratamento NI (não inoculado) (Figura 5A). Esse resultado corrobora com outros trabalhos que mostram o efeito positivo da interação de mudas de videira com os FMA em solos com elevadas concentrações de Cu (ROSA *et al.*, 2016; BERBARA *et al.*, 2006; AMBROSINI *et al.*, 2015), mesmo que a elevada concentração de P no solo possa ter inibido a colonização do isolado *Glomus* sp. (Figura 4A).

Ainda sobre a MSPA da videira (Figura 5A) os tratamentos de inoculação com o Mix, *Glomus* sp. e *Claroideoglomus* sp. apresentaram diferença estatística entre o fator pré-cultivo ou não de aveia-preta. O tratamento de inoculação Mix quando pré-cultivado com aveia-preta, promoveu o crescimento das mudas de videira quando comparadas às mudas sem o pré-cultivo de aveia-preta, mesmo apresentando baixa colonização micorrízica (Figura 4A). Isso pode ser devido a produção de micélio extrarradicular, que pode ter aumentado a eficiência da absorção dos nutrientes do solo (KOIDE, 1991). Em relação à MSR, os

tratamentos de inoculação com pré-cultivo de aveia-preta não tiveram diferenças significativas entre si. Entretanto houveram diferenças entre os tratamentos de inoculação na MSR (Figura 5B) sem o pré-cultivo de aveia-preta, onde a maior produção MSR foi promovida pelo isolado *Glomus* sp.

Os FMA podem auxiliar no crescimento da aveia-preta e videira em solo com elevado teor de cobre, enquanto o pré-cultivo de aveia-preta pode ser aplicado para melhorar as condições do solo para o crescimento de mudas de videira. Sendo assim, a obtenção de resultados de trabalhos científicos avaliando a inoculação de FMA e o pré-cultivo de plantas de cobertura comprovam o potencial destas ferramentas para facilitar o estabelecimento das mudas de videira em condições de solos contaminados com Cu. O uso adequado dessas práticas se mostram muito eficientes por sua capacidade de melhorar as qualidades físico, químicas e biológicas do solo, e os resultados obtidos podem aperfeiçoar técnicas sustentáveis como a inoculação de FMA e a utilização de plantas de cobertura.

O cultivo de aveia-preta, independente de ser ou não inoculada, pode trazer benefícios para o solo e as plantas cultivadas posteriormente, pois se trata de uma planta com capacidade de rápida cobertura do solo e resistente a diferentes condições estressantes, como déficit hídrico (MACHADO, 2000; SANTOS *et al.*, 1990). A aveia-preta pode ainda promover melhorias nas características físico-químicas do solo, protegendo-o contra erosão superficial (CALEGARI, 2006) e acelerar a ciclagem de nutrientes (DE-POLLI *et al.*, 1996), adicionando grandes quantidades de biomassa no solo, que por conta da atividade de degradação dos microrganismos é convertida em MO. Avaliações como a biodisponibilidade de Cu no solo após a inoculação com FMA e a utilização de plantas de cobertura, quais as formas do Cu no solo em decorrência do aumento de MOS e da sua retenção na glomalina (VODNIK *et al.*, 2008) e onde esse metal foi compartimentalizado na planta após sua absorção, são importantes para elucidar os mecanismos envolvidos na redução da toxicidade do Cu para as mudas de videira crescidas em solo contaminado por Cu.

## 5 CONCLUSÕES

1. A inoculação com os isolados *Glomus* sp. e UFSC-14 e o inoculante comercial, aumentam a produção de biomassa aérea da aveia-preta;
2. A produção de biomassa da videira inoculada com o Mix de FMA (*Claroideoglomus* sp. *Glomus* sp. e UFSC-14) é favorecida pelo pré-cultivo de aveia-preta em relação ao solo de vinhedos contaminados por Cu sem plantas de cobertura;
3. A inoculação do isolado *Glomus* sp. estimula a produção de biomassa total das videiras em solo contaminado por Cu na ausência do pré-cultivo de aveia-preta;
4. O pré-cultivo com aveia-preta diminuiu a colonização micorrízica do isolado *Claroideoglomus* sp. em mudas de videira em solo contaminado com cobre.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O presente trabalho relata a relação presente entre o plantio de aveia-preta como planta de cobertura, dois isolados de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) provenientes de áreas de plantio de videira contaminadas por Cu, um isolado provenientes de áreas contaminadas por rejeito de minas e um inoculante comercial.

Neste estudo foram analisados o crescimento, o número de esporos, a colonização micorrízica da aveia-preta e da videira e os resultados obtidos se mostram promissores. Os resultados demonstram que a utilização de FMA é de grande auxílio para os cultivos de videira em solo contaminado com Cu, e que levam a um melhor estabelecimento das mudas. A utilização dos isolados das áreas com altos níveis de Cu se mostram interessantes para estudos posteriores por terem demonstrado resistência aos altos níveis de Cu.

Com esses resultados, pudemos compreender melhor os efeitos e a interação dos FMA e da aveia-preta com a videira nessas condições de estresse causados pelos altos níveis de Cu no solo. Com isso abre-se novas perspectivas para outros estudos para que se possa aprofundar ainda mais e entender essa relação. Outras análises podem ser realizadas para compreender melhor os resultados, como por exemplo a determinação de glomalina total e facilmente extraída, quantificação de P e Cu nos tecidos na parte aérea e radicular das plantas, e assim determinar se os padrões de absorção desses elementos quando inoculadas e onde estão mais concentrados, além de microscopia eletrônica de fluorescência da porção radicular para averiguar a compartimentalização do Cu nas estruturas radiculares. Por meio dos resultados desse trabalho, cultivar as mudas de videira em sucessão à aveia-preta com a inoculação do inoculante comercial, isolado *Glomus* sp. ou isolado UFSC-14 podem ser interessantes para levar a um aumento na produção de biomassa da aveia-preta e tratamento Mix para levar a uma maior produção de biomassa na videira. Esses resultados podem ser melhor compreendidos com experimentos a campo para verificar sua viabilidade na produção de videira.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. VAN; ABREU, C. A. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq : FAPESP : POTAFOS, 2001. cap.6, p. 125-150.

ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.) Heavy metals in soils. New York : John Wiley, 1990. p.29-39.

AMBROSINI, V. G.; VOGES, J. G.; CANTON, L.; COUTO, R. R.; FERREIRA, P. A. A.; COMIN, J. J.; MELO, G. W. B. de; BRUNETTO, G.; SOARES, C. R. F. S. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper-contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(4), 1045-1052.

AMBROSINI, V. G.; SORIANI, H. H.; ROSA, D. J.; TIECHER, T. L.; GIROTTO, E.; SIMÃO, D. G.; MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G. (2016). Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. B. de; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A. Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras. Bento Gonçalves, RS: Embrapa uva e Vinho, p. 91-110, 2016. (Embrapa uva e Vinho. Documentos, 100).

ANDREAZZA, R., CAMARGO, F.A.O., ANTONIOLLI, Z.I., QUADRO, M.S. AND BARCELOS, A.A., 2013. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 36, no. 2, pp. 127-136.

ANJOS, J. Â. S. A.; SÁNCHEZ, L. E.; BERTOLINO, L. C. Remediação de áreas contaminadas: proposições para o sítio da Plumbum em Santo Amaro da Purificação, BA. In: Projeto Santo Amaro-BA: aglutinando idéias, construindo soluções - diagnósticos[S.l: s.n.], 2012.

AZCON-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, Spain, v. 6, p. 457-464, oct. 1996.

BAPTISTA, M. J. Efeito de flavonóides na germinação e no crescimento assimbiótico de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. 2019. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1993.

BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E. & GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biol. Biochem.*, 41:1491-1496, 2009.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. (2006). III - Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: Fernandes, M.S. (ed.) *Nutrição mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, p. 74-85.

BRASIL. Economia e emprego. Festa da uva mostra força da agricultura familiar no Sul do País. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2012/02/festa-da-uva-mostra-forca-da-agricultura-familiar-no-sul-do-pais>>. Acesso em: 25 de jun. 2019.

BEZERRA, A. S. Fungos Micorrízicos Arbusculares em Área com Sintomas do Declínio e Morte da Videira na Região do Alto do Vale do Rio do Peixe - SC. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2020.

BRUNDRETT, Mark & ABBOTT, Lynette & JASPER, D.. (1999). Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. *Mycorrhiza*. 8. 305-314. 10.1007/s005720050251.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO J. R. et al. (Eds.). *Sistema Plantio direto com qualidade*. Londrina: IAPAR, 2006. p. 55-73.

CAPRONI, A. L. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas/ PA. 2001. 186 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira ; ANDREOTE, Fernando Dini . *Microbiologia do solo*. 2. ed. PIRACICABA: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016. v. 1. 221p ., New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254.

CASALI, C.A.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A.L.M.; KAMINSKI, J. & MELO, G.W.B. Formas e desorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1479-1487, 2008

CCE- CONCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Tenth progress report of the advisory committee on safety, hygieneion at work. Luxemburg, 1986.

COLARD A, ANGELARD C, SANDERS IR. Genetic exchange in an arbuscular mycorrhizal fungus results in increased rice growth and altered mycorrhiza-specific gene transcription. *Appl Environ Microbiol.* 2011;77(18):6510-6515. doi:10.1128/AEM.05696-11

COLLIER, S. C., YARNES, C. T., & HERMAN, R.P (2003). Mycorrhizal dependency of Chihuahuan Desert plants is influenced by life history strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments*, 55(2), 223–229. doi:10.1016/s0140-1963(03)00031-4

COSTA, N. de L.; DIONÍSIO, J.A.; ANGHINONI, I. Influência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, fontes e doses de fósforo sobre o crescimento da aveia forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.6, p.979-986, 1989

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Análises do mercado agropecuário e extrativista. Conjuntura uva: Análise Mensal: janeiro de 2018. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em:<[https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-uva/item/download/15904\\_7bf5971a480ec9cf298e5ba42d9a4b4e](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-uva/item/download/15904_7bf5971a480ec9cf298e5ba42d9a4b4e)>. Acesso em: 17 de abril de 2019.

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p.

CROLL, D.; GIOVANNETTI, M.; KOCH, A, M.; SBRANA, C.; EHINGER, M.; LAMMERS, P. J.; SANDERS, I R. Nonself vegetative fusion and genetic exchange in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *New Phytologist* (2009) 181: 924–937

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; FRANCO, A.A. Adubação verde: parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina. Manejo integrado de solos e microbacias hidrográficas. Londrina: IAPAR, 1996. p.225-243.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Guia de plantas para adubação verde de inverno. Londrina: IAPAR, 1985. 96p. (IAPAR. Documentos, 9).

FERREIRA, D. F. Sistemas de análise estatística para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 141 p.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal engogne species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GIROTTI, E., CERETTA, C. A., BRUNETTO, G., SANTOS, D. R., SILVA, L. S., LOURENZI, C. R., LORENSINI, F., VIEIRA, R. C. B., & SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 955-965, jun. 2010. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000300037&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300037&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 17 abr. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300037>.

GOMIDE, Plínio Henrique Oliveira; SANTOS, José Geraldo Donizetti dos; SIQUEIRA, José Oswaldo and SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2009, vol.44, n.11 [cited 2020-11-14], pp.1483-1490

HAQUE, I.; ADUAYI, E.A.; SIBANDA, S. Copper in soils, plants, and ruminant animal nutrition with special reference to sub-Saharan Africa. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.16, n.11, p.2149-2212, 1993.

HIPPLER F.W.R., MOREIRA M., 2013. Dependência micorrízica do amendoinzeiro sob doses de fósforo. *Bragantia*, 72, 184-191.

HOAGLAND DR; ARNON DI. 1950. The waterculture method for growing plants without soil. Berkeley, CA: Agric. Exp. Stn., Univ. of California. (Circ. 347).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; MERCANTE, F. M.; SILVA, A. P. DA. Biodiversidade microbiana do solo. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 1 folder.

INVAM - INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF (VESICULAR) ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI. 2020. Morgantown: West Virginia Agriculture and Forestry Experimental Station. Disponível em < <http://invam.wvu.edu/> > [Acesso: 05 de Dezembro de 2020]

JACKSON, M. L. Análisis químico de suelos. Barcelona: Omega, 1964. 662p.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48:629. 1964.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3. ed. Florida : CRC Press, 2001. 413p.

KING, L.D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.T.; FONTES, M.P.F. (Eds.). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, 1996. p.823-836.

KOIDE, R. T. (1991). Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 117(3), 365–386. doi:10.1111/j.1469-8137.1991.tb00001.x

KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhiza. *Mycological Research*, v. 92, p. 486-505, 1989.

LERMEN, C.; FERREIRA, F. G.; CAMILOTTI, J.; RAIMUNDO, K. F.; URCOVICHE, R. C.; GUELLIS, C.; ALBERTON, O. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com aveia em Umuarama – PR. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, Umuarama, v. 15, n. 1, p. 49-55, jan./jun. 2012.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. *Fundamentos da química do solo*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182p.

MACHADO, L. A. Z. *Aveia: forragem e cobertura do solo*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 16 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Coleção Sistema Plantio Direto, 3).

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. São Paul: Produquímica, 1994. 153p.

MANTOVANI, A. *Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais*. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 165p. 2009

McBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 415p.

McBRIDE, M.B. Cupric ion activity in peat soil as a toxicity indicator for maize. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.30, n.1, p.78-84, 2001.

McGONIGLE, T. P.; MILLERS, M. H.; EVANS, D. G.; FAIRCHILD, L.; SWAN, J.A.. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* (1990), 115, 495.

MELO GW, BRUNETTO G, SCHAFFER JUNIOR A, KAMINSKI J, FURLANETTO V. (2008) Matéria seca e acumulação de nutrientes em videiras jovens cultivadas em solos com diferentes níveis de cobre. *Revista Brasileira de Agrociência* 14(4):72-76.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MICHAUD, A.M.; BRAVIN, M.N.; GALLEGUILLOS, M.; HINSINGER, P. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.298, n.1-2, p.99-111, 2007.

MUNHOZ BENITES, LEONARDO, BRUM DONCATO, KENNIA, DOS SANTOS MINHO, THAIS, PERAZZO, GISELLE XAVIER. Avaliação do potencial mutagênico de cobre da água do rio Uruguai. *Ciência e Natura [en linea]* 2014, 36 (Mayo-Agosto): [Data de consulta: 17 de abril de 2019] Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546173004>> ISSN 0100-8307.

PINTA, M. Atomic absorption spectrometry. London : Adam Hilger, 1975. 730p.

PITOL, C. A cultura da aveia no Mato Grosso do Sul. Maracaju: CTC/MS-COTRIJUI, 1988. 34p. (COTRIJUI. Boletim Técnico, 2).

REDECKER, Dirk. (2002). New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil record. *Research in microbiology*. 153. 125-30. 10.1016/S0923-2508(02)01297-4.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil quality. *Can. J. Soil Sci.*, 84:355-363, 2004.

ROSA, D.; AMBROSINI, V. BRUNETTO, G. SOARES, C. R. F. S.; BORGHEZAN, M. PESCADOR, R. (2016). Parâmetros fisiológicos em videiras 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com cobre. *Ciência e Técnica Vitivinícola*. 31. 14-23. 10.1051/ctv/20163101014.

ROSS, S.M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: ROSS, S.M. (Ed.) Toxic metals in soil-plant systems. New York: Wiley, 1994. p.63-152.

SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; BAIER, A.C. Sistemas de cultivo para triticales. I. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do triticales, e outras culturas de verão, em plantio direto, 1987 e 1988. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE TRITICALE, 3., 1989, Cascavel. Anais... Cascavel: OCEPAR, 1990. p.235-244.

SANTOS, H.P.; MELO, W.B.; LUZ, N.B.; TOMASI, R.J. Comportamento fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre. Bento Gonçalves : Embrapa, 2004. (Comunicado técnico, 49).

SEBRAE. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. O cultivo e o mercado da uva. Brasília: Sebrae Nacional. 2016. Disponível em:<<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-uva,ae8da5d3902e2410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 17 de abril de 2019.

SILVA, P. C. G.; COELHO, R. C. Caracterização social e econômica da cultura da videira. Sistemas de Produção, 1 2a. edição. ISSN 1807-0027. 2010.

SMITH, S. E.; READ, D .J. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, 1997.

SÔNIGO, O.R.; GARRIDO, L. da R.; GRIGOLETTI JÚNIOR. Principais doenças fúngicas da videira no Sul do Brasil. Bento Gonçalves: EMBRAPA, 2005. 32p. (Circular Técnica, 56).

SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. & LIMA, F.S.L. Glomalina: Características, produção, limitações e contribuição nos solos. Semina: Ci. Agron., 33:3033-3044, 2012.

SOUZA, F. A. de; TRUFEM, S. F. B.; ALMEIDA, D. L. de; SILVA, E. M. R. da; GUERRA, J. G. M. Efeito de pré-cultivo sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção da mandioca. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, p. 1913-1923, 1999.

STOFFEL, Shantau. (2020a). Yield increase of soybean inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. African journal of agricultural research. 10.5897/AJAR2020.14766.

STOFFEL, Shantau (2020b). Yield increase of corn inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. Cienc. Rural, Santa Maria , v. 50, n. 7, e20200109, 2020 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782020000700201&lng=e](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782020000700201&lng=e)

n&nrm=iso>. access on 04 Dec. 2020. Epub June 08, 2020.  
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200109>.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes et al . Micorrizas Arbusculares No Crescimento De Leguminosas Arbóreas Em Substrato Contendo Rejeito De Mineração De Carvão. **Cerne**, Lavras , v. 22, n. 2, p. 181-188, June 2016 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-77602016000200181&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602016000200181&lng=en&nrm=iso)>. access on 04 Dec. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622021969>.

VARGAS, L.; OLIVEIRA, O. L. P. Sistema de Produção de Uvas Rústicas para Processamento em Regiões Tropicais do Brasil - Manejo da vegetação e cobertura. Dez./2005. (Sistemas de Produção, 9). Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasRusticasParaProcessamento/manejo.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

VARMA, A. Mycorrhiza. State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3 ed. 2008.

VENDRUSCOLO D (2013) Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 57p.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTEREN VAN, J. T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. *Science of the Total Environment*, v. 392, n. 1, p. 130-136, 2008.

YANG, F.Y., Li, G.Z., Zhang, D.E., Christie, P., Li, X.L., Gai, J.P., 2010. Geographical and plant genotype effects on the formation of arbuscular mycorrhiza in *Avena sativa* and *Avena nuda* at different soil depths. *Biology and Fertility of Soils* 46, 435e443.

YRUELA, I. Copper in Plants Braz. J. Plant Physiol, Londrina, v. 17, n. 1, jan./mar., 2005.